

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ  
ЦЕНТР ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

Л.Ф. Ємчик

**ПРОФЕСІЙНО СПРЯМОВАНЕ  
ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ  
У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ  
РОБІТНИКІВ  
СФЕРИ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

*Навчально-методичний посібник*

Київ  
Педагогічна думка  
2013

УДК 377:53](072)  
ББК 74.56я722+22.3я722  
Є60

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради  
Львівського науково-практичного центру  
професійно-технічної освіти НАПН України  
(протокол №10 від 21 листопада 2012 р.)*

**Рецензенти:**

*З. М. Микитюк*, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри електронних приладів НУ «Львівська політехніка»;

*Я. М. Собко*, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу професійно-практичної підготовки Львівського науково-практичного центру ПТО НАПН України.

**Ємчик Л. Ф.**  
Є60 **Професійно** спрямоване вивчення фізики у процесі підготовки робітників сфери обслуговування: навчально-методичний посібник/ ав.: Ємчик Л.Ф. — К.: Педагогічна думка, 2013. — 144 с.

ISBN 978-966-644-360-4

Навчально-методичний посібник „Професійно-спрямоване вивчення фізики у процесі підготовки робітників сфери обслуговування” складається із двох розділів. У першому розділі подаються теоретичні і методичні засади професійно спрямованого навчання фізики, а у другому — у стислій формі представлений теоретичний матеріал курсу, методичні рекомендації до вивчення деяких важливих питань. Посібник є доповненням до основного підручника з фізики, тому матеріал у ньому подається стисло і конкретно. Поданий матеріал сприятиме ефективнішому засвоєнню учнями знань з фізики для подальшого використання їх у фахових дисциплінах і у майбутній практичній роботі.

УДК 377:53](072)  
ББК 74.56я722+22.3я722

ISBN 978-966-644-360-4

© Львівський науково-практичний центр ПТО  
НАПН України, 2013  
© Ємчик Л.Ф., 2013  
© Педагогічна думка, 2013

## ВСТУП

Взаємозв'язок загальної та професійної освіти реалізується через професійну спрямованість загальноосвітніх дисциплін, побудову спеціальних і загальнотехнічних предметів на інтегративно-модульній основі, шляхом використання самостійних інтегруючих видів діяльності при розробці навчально-програмної документації.

Зміст, форми, методи і засоби професійно-технічної освіти ґрунтуються на збагаченні змісту праці за рахунок впровадження нових виробничих і педагогічних технологій, професійного навчання, орієнтованих на підготовку за інтегрованими професіями робітників широкого профілю і високої кваліфікації, на нові економічні форми організації і стимулювання праці, на розвиток індивідуальної та колективної ініціативи, на підвищення в учнів задоволення від праці та навчання, на стимулювання їх діяльності.

Система професійно-технічної освіти розвивається під впливом науково-технічного прогресу, соціально-технічної інтеграції робітничих професій та інтенсифікації виробництва, що викликає зміни у професійно-кваліфікаційній структурі робітників. Важливого значення набуває викладання основ техніки (фізика), економіки, технології організації виробництва, оволодіння навичками користування сучасною новою технікою.

Робітник, який володіє значним запасом загальнотеоретичних знань набагато швидше адаптується на підприємстві, ніж випускник, який засвоїв знання, вміння та навички лише конкретного ремесла. Низький інтерес до вивчення загальноосвітніх предметів з боку учнів пояснюється тим, що вони не розуміють значущості цих дисциплін для оволодіння профільними предметами і професійними знаннями, вміннями, навичками. Ретельно підготовлені завдання з виробничим змістом у процесі вивчення природничо-математичних дисциплін сприяють підвищенню мотивації до навчання, оскільки більшість технічних механізмів, технологічних процесів і прийомів діяльності ґрунтуються на фізичних закономірностях.

## Розділ І.

# ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПРОФЕСІЙНО СПРЯМОВАНОГО НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

**Р**озвиток науки і техніки, використання комп'ютерних технологій означає неминучу багатогранну перебудову виробництва та підвищення професійної мобільності робітників. Початкова загальноосвітня і професійна підготовка створює базу для подальшого нарощування та оновлення знань. Цей початковий етап є фундаментом для вдосконалення професійної майстерності, підвищення кваліфікації та рівня професійної культури.

Навчально-виховний процес ґрунтується на положеннях Державної національної програми «Освіта», а саме: відкритості системи освіти, безперервності, нероздільності навчання і виховання, багатокладності і варіативності освіти [7, с. 8], а також на концепції розвитку професійної освіти в Україні (прогнозування у професійній підготовці, неперервність, фундаменталізація, інтеграція професійної підготовки науки і виробництва, поєднання загальноосвітньої і професійної підготовки, стандартизація, єдність професійного навчання і виховання, індивідуалізація і диференціація [12, с. 3]

Напрями виховної роботи у ПТНЗ визначають директивні документи Міністерства освіти і науки, а саме: «Орієнтовне положення про організацію і проведення виховної роботи в професійно-технічних навчальних закладах Міністерства освіти і науки України» № 257 від 16.04.2002, м. Київ; «Методичні рекомендації щодо організації та проведення виховної роботи в професійно-технічному навчальному закладі», які розроблені на виконання рішення колегії Міністерства освіти і науки України від 12 квітня 2001 року, «Про Основні напрями реформування професійно-технічної освіти в Україні».

У методичних рекомендаціях зазначено, що одним із напрямів, за яким проводиться виховна робота в ПТНЗ, є динаміка прогнозування професійної придатності учнів.

Активізувати учня та збільшити його мотивацію можна лише спеціально організованим способом навчання. У літературі представлені наукові розробки, що стосуються загальних методів навчання (А. М. Алексюк, Г. Ващенко, М. А. Данілов, А. І. Дьомін, В. В. Краєвський, І. Я. Лернер, М. І. Махмутов, В. Окунь, М. М. Скаткін, В. О. Онищук, А. В. Хуторський), та інтегративного підходу до використання методів навчання (Л. І. Ломако, Л. С. Нечаєва, О. Т. Проказа, А. І. Сваровська, О. В. Сергеев) у професійній освіті. Ефективність процесу навчання дидактики видно у структурній перебудові, взаємозв'язку методів, форм і засобів навчання, від загальноосвітніх до фахових дисциплін, від теоретичних засад до практичної діяльності; у розробці нових дидактичних комплексів стосовно змісту, методів, засобів, форм навчання. Методи навчання повинні бути насамперед спрямовані на те, щоб допомогти учневі в умовах переносу знань і вмінь із однієї галузі в іншу [13, с. 41].

До найбільш ефективних методів, які забезпечують високий рівень теоретичних знань і практичних вмінь, активність і самостійність студентів, належать проблемні та дослідницькі методи, комп'ютеризація навчального процесу, проведення експериментів, в результаті чого можлива реалізація традиційних дидактичних принципів, а також принципів професійного спрямування та інформаційного забезпечення.

При вивченні фахових дисциплін доцільним є інтеграція методів навчання відповідно до дидактичних цілей. Це сприятиме підвищенню рівня знань з фахових предметів, різнобічного розгляду типів та засобів, технологій професійної діяльності, підвищенню рівня знань у певній галузі виробництва.

Особливо важливим є засвоєння таких напрямів технічного прогресу, які різко змінюють сучасне виробництво (збільшення потужностей енергоблоків, розробка обладнання для автомати-

зованих систем управління, розробка нових матеріалів, нових технологій виробництва тощо). Для цього учні повинні не лише мати глибокі знання з природничо-математичних дисциплін, а саме, з фізики, але й усвідомлювати використання цих знань, розуміти явища природи і техніки, самостійно використовувати знання у нових умовах. Успіху можна досягнути при гармонічному поєднанні різних методів навчання, які поєднують навчально-виховні цілі, враховують фізіологічні особливості учнів і залежать від змісту навчального матеріалу та матеріально-технічних засобів навчання. Кожній конкретній дидактичній цілі навчального процесу повинен відповідати певний метод навчання. Розуміння політехнічного спрямування навчального матеріалу досягається поясненням, інтегруванням за змістом нового матеріалу з відомим (запам'ятовування — повторення, використання за правилом — тренування із використанням алгоритму, застосування у нових умовах — творчі вправи і лабораторні роботи творчого характеру).

На кожному етапі освіти можуть функціонувати різні системи навчання, що мають певні відмінні ознаки. Варіативність зумовлена цілями, змістом, методами, засобами й організацією навчання, тобто, існують інформаційні зв'язки між системами навчання не лише по вертикалі, але й по горизонталі. Взаємозв'язки між елементами системи навчання надають їй інтегративних властивостей, найважливішою ознакою яких є їх прогностичність. Ця особливість найбільш очевидна в системі професійної освіти, особливо якщо врахувати специфіку різних професій. У зв'язку з розвитком нових наукових знань у професійно-технічних закладах освіти оновлюється зміст навчання, а також з'являються нові навчальні предмети з певною специфікою, такі, як комп'ютерна графіка, дизайн тощо.

У системі професійно-технічної освіти існують протиріччя між новими вимогами до рівня знань учнів і їх наявним загальним розвитком; між сформованими вміннями і навичками, і такими, які необхідно сформувати; між теоретичними знаннями і вмінням використовувати їх на практиці; між поясненням викладача і сприйняттям інформації індивідуально учнем відповідно до його психофізіологічних можливостей. Якщо ці протиріччя змістовні і учні усвідомлюють їх, то можна сподіватися, що їх вирішення дасть позитивний результат у навчанні [19, с. 479].

Для відбору та формування змісту навчання вихідне та найважливіше значення мають цілі. Вони мають ієрархічну структуру, тому при вивченні кожної дисципліни їх необхідно деталізувати. Цілі повинні відповідати кожному конкретному навчальному закладу, повинні формуватися на основі соціального замовлення і представлятися у вигляді тих професійних вмінь, навичок та особистісних якостей, які необхідні для майбутньої практичної діяльності. Вони повинні бути дуже конкретизованими, ґрунтуватись на прогностичній інформації про умови, засоби і зміст професійної діяльності майбутніх фахівців. В результаті прогностичних досліджень отримуються дані для розробки прогностичної моделі спеціаліста, яка повинна бути адаптованою, тобто враховувати індивідуальні здібності і запити кожного учня. Ця модель динамічна, у ній враховуються тенденції розвитку науково-технічного прогресу в певній галузі і відповідно коректується зміст навчання [4, с. 32].

Пізнавальна діяльність учнів спрямована на відображення і сприйняття дійсності у їх мисленні, на опанування інформацією про оточуюче середовище у вигляді системи понять, суджень, уявлень, образів і основ діяльності. Результат цієї діяльності характеризується знаннями і станом формування пізнавальних здібностей учнів. Ефективна пізнавальна діяльність — це вміння використовувати свої знання на практиці. Сформованість знань можна оцінити тоді, коли вони проявляються у вмінні виконувати розумову або фізичну діяльність, а вмінь — коли вони реалізуються у практичній діяльності [1, с. 89]. Тому при розробці цілей необхідно визначити перелік вмінь, необхідних для успішної практичної діяльності, і знань, що сприятимуть формуванню цих вмінь. Це дасть можливість розробити дидактичну технологію.

Розробка цілей навчання і його професійна спрямованість обґрунтована у багатьох роботах (С. Я. Батишев, П. М. Волков, Р. С. Гуревич, О. С. Дубинчук, Н. Г. Ничкало, В. О. Радкевич, С. О. Сисоєвої), проте мало звернуто уваги на професійно спрямоване навчання природничих дисциплін, і саме, фізики. Необхідно виявити можливості ефективного навчання фізики в умовах скорочення годин на її вивчення (хоча не зрозуміло, як можна обійтись без цих фундаментальних знань у час автоматизації виробництва, від важкої промисловості до сфери обслуговування). Очевидною є оптимізація змісту навчання та його цілей. Наявні навчальні

плани і програми не встигають варіювати у зв'язку з науково-технічним прогресом та швидкими змінами суспільно-економічних відносин.

Науково-технічний прогрес дав змогу розширити сферу фізики, раніше недоступну для дослідження. Розвиваючись у тісному зв'язку з технікою і будучи її фундаментом, фізика проникла в усі галузі промисловості, створивши умови для появи нових її галузей, таких як лазерна і аерокосмічна техніка, голографія, радіоелектроніка, опто- і кріоелектроніка, ядерна енергетика тощо.

Перед майбутніми робітниками сучасне виробництво щоденно ставить нові виробничо-технічні завдання різного рівня складності. При цьому формування технічного мислення, інтелекту і загалом особистості — це єдиний процес. Тому дидактичні методи і засоби підготовки творчої особистості повинні утворювати систему психолого-дидактичних та інженерно-педагогічних впливів на учнів.

Високий технічний прогрес вимагає кваліфікованих робітників, мобільних, з високим інтелектом та комунікабельних, із сформованими вміннями самостійно опановувати знання, швидко засвоювати нові технології виробництва, логічно та технічно мислити, робити правильну самооцінку і самовдосконалюватися [6, с. 57]. Вдосконалення і оновлення змісту навчання повинно узгоджуватися з вимогами необхідної модернізації методів навчання.

Суперечність «фундаментальні знання — професіоналізм» є рушієм розвитку та оновлення освіти. Ефективність фундаменталізації професійної освіти може бути забезпечена лише за умови формування та впровадження системи фундаментальних знань для конкретного профілю професій. Це можливо за умови координації діючого і синергетичного підходів. Загальноосвітні дисципліни дають можливість краще усвідомлювати і якісно використовувати інформацію про процес виробництва, властивість матеріалів, принципи їх відбору та взаємозаміни [6, с. 64].

Для якісної підготовки фахівця потрібні системні знання, в результаті чого формується системне мислення. Творча робота будь-якого працівника вимагає розвинутого технічного мислення, яке можна сформулювати послідовно засобами природничо-математичних дисциплін. Отримані теоретичні і практичні знання узагальнюються в свідомості учня та стають фундаментом для формування технологічної картини світу, яка разом із технічним мисленням дає технічну освіту.

Робітник на сучасному виробництві повинен швидко орієнтуватися в нестандартних ситуаціях, володіти абсолютно новою технологічною культурою, бути і професійно, і психологічно готовим до постійного оновлення засобів і методів праці, до зміни їх організації, введення нових механізмів господарювання на основі госпрозрахунку, тобто виявляти ініціативу і винахідливість.

Вивчаючи фізику, учні отримують технічні знання. Найбільше використовуються знання з механіки і електродинаміки: поняття, закони, явища, закономірності в різних виробничих процесах. Фізичні закони лежать в основі технічних знань, а нові відкриття у цій науці ефективно використовуються технікою. Розвиток технічних наук, зі свого боку, сприяє вдосконаленню методів дослідження у фізиці. Зв'язок цієї науки (дисципліни) з технікою розширюється і стає міцнішим завдяки розвитку науково-технічного прогресу. Основні напрями технічного прогресу (механізація, автоматизація, електрифікація, радіофікація, інформаційні технології, створення матеріалів із заданими властивостями, використання волоконно-оптичних пристроїв, атомної енергії) тісно пов'язані із вивченням фізики.

Методи наукового пізнання необхідні для розуміння і пояснення фізичних явищ і законів, для використання їх в техніці. Без знання основних законів, явищ, закономірностей неможливо приступати до вивчення прикладних і фахових дисциплін. Фізичні явища пов'язані між собою, наприклад, падіння тіла спричинене дією на нього тяжіння Землі. Між явищами існують причинно-наслідкові зв'язки, які виражаються фізичними законами. Аналітичне представлення їх показує залежність між фізичними величинами, що характеризують ці явища і властивості. Людина виявляє такі зв'язки у природі шляхом спостереження або експерименту, відкриває закони і використовує їх на практиці. Джерелом наукових знань є практика спостережень і експериментів. Наприклад, усі газові закони — це експериментальні закони. Вони

виконуються за певних умов, тобто мають певні межі застосування. В процесі пізнання ми переходимо від неповного знання до більш повного і більш точного. Це означає, що наукові знання поступово розвиваються, поглиблюються, дають більш точне уявлення про природу.

Для прикладу розглянемо, на чому необхідно акцентувати увагу при навчанні окремих розділів фізики у їх зв'язку із фаховими дисциплінами.

Механіка вивчає рух і взаємодію різних матеріальних тіл, загальні питання руху і роботи механізмів та машин, гідромеханіка — рух і взаємодію рідин та тіл, аеромеханіка — рух тіл у газовому середовищі. З іншого боку, технічна механіка (фахова дисципліна) розглядає проблеми техніки і технологій, що постійно виникають у зв'язку з розвитком нових видів виробництва і нових технічних засобів, які вже не можна розв'язати на основі лише дослідних даних і які потребують для свого розв'язання моделювання на основі точного попереднього розрахунку та наукового передбачення, що спирається на глибокі знання законів і методів механіки.

Фізика вчить розраховувати електричні кола, пояснює принцип дії та умови експлуатації електротехнічних приладів. Вчення про електрику розкриває фізичну природу електромагнітних явищ, електричних і магнітних властивостей речовини, описує практичне застосування законів електродинаміки і електроніки в техніці, на виробництві та в практичному житті тощо.

Електротехніка (фахова дисципліна) — це наука про технічне, практичне і прикладне використання електричних і магнітних явищ.

Матеріалознавство (фахова дисципліна) вивчає основні принципи вибору сплавів, види термічної обробки з метою отримання необхідних функціональних властивостей деталей і механізмів тощо, а фізика дає знання про атомно-кристалічну будову матеріалів, дефекти кристалічної будови, термодинамічні процеси при кристалізації, деформації, механізм рекристалізації при термічній обробці.

Опір матеріалів використовує математичні методи і фізичні досягнення, експериментальну базу, комп'ютерну техніку.

Вивчення реальних фізичних об'єктів і явищ часто спрощує задачу, якщо розглядати лише істотні властивості об'єкта або явища. Такий метод пізнання називають ідеалізацією.

Освоїти будь-який технологічний процес не можна без використання термодинаміки, тобто аналізу процесів з енергетичної точки зору. Важливе значення має вивчення елементів квантової фізики. Цей матеріал повинен вивчатися поглиблено для усіх профілів навчання, що дає можливість сформувати логічне мислення, вміти робити певні висновки, інтерпретувати явища, трансформувати знання з однієї галузі в іншу. «Сучасні фізичні уявлення про природу впливають на стиль мислення тих, хто має справу з принципово новими технологічними процесами» [23, с. 61].

На стадії фахового навчання учні вивчають типові для кожного виробництва технологічні процеси і засоби праці, які ґрунтуються на фізичних явищах, процесах, закономірностях, і послідовно формують основні знання, навички та вміння. Важливим завданням технічного навчання в курсі фізики є формування практичних вмінь і навичок: навичок електричних вимірювань, а також вимірювань неелектричних величин електричними методами, вміння вибирати необхідні прилади для роботи, використовувати метод моделювання, формувати мануальні навички. Розвитку технічного мислення сприяє аналіз в групі механізмів або машин однакових фізичних принципів і відмінностей. У цьому аспекті доцільно показати розвиток технічних ідей, основних тенденцій технічного прогресу в галузі, вдосконалення енергозберігаючих виробництв, використання альтернативних джерел енергії. Таке інтегроване навчання сприятиме участі майбутніх фахівців в технічних і організаційних нововведеннях на робочому місці. Отже, формування професійних навичок і вмінь здійснюється на загальнотехнічній основі, що дає можливість майбутньому кваліфікованому робітнику фахово працювати на будь-якому виробництві.

Сформоване технічне мислення відповідного рівня, творче ставлення до праці надають можливість робітнику успішно використовувати нове обладнання, економно застосовувати сировину, матеріали, енергоресурси та інноваційні технології. Нові галузі виробництва, гнучкі технологічні системи, промислові роботи, комп'ютери нових поколінь, відеотехніка



вимагають від працівника технічних знань, в основі яких є знання фізико-хімічних процесів, властивостей сучасних матеріалів тощо.

Навчальна програма з фізики для професійно-технічних закладів освіти передбачає профільну диференціацію, з метою введення різних фахових напрямів, що різняться за обсягом матеріалу і його обґрунтованістю. Ці напрями підготовки потребують поглибленого вивчення різних розділів фізики.

Аналіз програмного матеріалу з фізики для ПТНЗ показує, що основу складає шкільний курс фізики, а профілізація — це розгляд лише в кінці кожного розділу прикладних питань (використання фізичних понять, теорій, законів, явищ тощо для підготовки фахівців певного профілю).

Більш ефективним методом є інтеграція прикладних питань з основним матеріалом для різнобічного вивчення цього матеріалу, тобто для збільшення мотивації до навчання в процесі вивчення кожної теми (де це доцільно). Кожні 3—5 років прикладні питання потребують корекції, оскільки з'являються нові засоби і форми праці. Питання механіки, що є основою всіх профілів навчання, необхідно не лише повторювати, але й поглиблювати.

Викладачі можуть вносити деякі зміни в тематику курсу, змінювати розподіл часу на вивчення тем чи розділів із врахуванням специфіки професій, підбирати прикладний матеріал. Робота викладача вимагає творчого підходу. Крім того, ефективна підготовка фахівця потребує поєднання роботи викладачів фізики і майстрів виробничого навчання, які періодично повинні узгоджувати зміст і методику навчання, акцентуючи увагу студентів на тому чи іншому матеріалі, не порушуючи при цьому загальної логіки курсу та його фундаментальності. Це впливає з положення про те, що вимоги до підготовки фахівців формуються роботодавцем, тобто працює «ланцюжок»: «роботодавець — майстер виробничого навчання — викладач фізики» (стосується лише варіативної частини курсу фізики).

Фізика дає уяву про сучасні інформаційні основи розвитку техніки та забезпечення професійної компетентності випускників, формування навичок технічного мислення, як виду наукового пізнання, розуміння універсальності фізичного підходу до розвитку науки і техніки. При вивченні цієї науки важливе значення має ступінь ясності та розуміння мети, необхідності формування тих чи інших знань. Щоб виник мотив до діяльності та потреба у вивченні дисципліни, необхідна професійна спрямованість навчання, що залежить від методики та організації навчального процесу. З одного боку, в курсі фізики необхідно пропедевтично вирішувати питання, пов'язані зі специфікою майбутньої роботи, а з іншого — вміти використовувати фізичні методи при вивченні фахових дисциплін. Тоді сформується розуміння основ цих наук. У фізиці важко точно визначити більш або менш важливий матеріал, оскільки, по-перше, він між собою дуже пов'язаний, а по-друге, він важливий увесь — для формування мислення та орієнтації в будь-якій виробничій ситуації.

Зв'язок між усіма компонентами навчального процесу, а також деякими його елементами можна окреслити цілями, методами, формами, засобами навчання. Кожен із цих елементів при вивченні фізики в тій чи іншій мірі пов'язаний із відповідними компонентами фахових предметів для різних спеціальностей. В цьому випадку важливим завданням викладача є продемонструвати студентам загальні та специфічні форми застосування фундаментальних знань в різних фахових предметах і практичній діяльності.

Поняття, процеси, закономірності у фахових предметах можна уточнити, підтвердити, всебічно пояснити або звузити на основі знань і методів, які використовує фізика. З іншого боку, категорії, поняття, процеси, які вивчаються у фізиці, можуть бути підтверджені, детальніше описані процесами, фактами з фахових дисциплін. Таких прикладів взаємного пояснення, обґрунтування, конкретизації в процесі підготовки фахівців дуже багато. При успішному використанні цих взаємозв'язків можна зробити процес опанування знаннями більш доступним для розуміння, одночасно дотримуючись принципу науковості. Аналогічний зв'язок можна виявити і використати в методах навчання, а саме, використовуючи проблемні ситуації, ігрові методи, дискусії тощо. Ці методи дозволяють краще зрозуміти технічні та технологічні процеси на виробництві, використовуючи знання загальноосвітніх дисциплін.



Ідентичні методи і засоби навчання, підходи до формування цілей, змісту різних дисциплін дають можливість проводити бінарні заняття, поєднуючи фізику, хімію, математику і фахові предмети, розв'язувати ситуаційні задачі. З методичної точки зору необхідно встановити зв'язки між елементами, ознаками, технологіями загальних і професійних дисциплін, враховуючи специфіку кожної спеціальності, наприклад, акустика — електродинаміка — оптика — комп'ютерні технології; фізика — біологія — фізіологія — медсестринська справа; механіка пружних середовищ — електродинаміка — матеріалознавство — будівельна справа тощо. Важливо відзначити, що такі зв'язки передбачають всебічний розгляд певного виробничого процесу, з використанням знань з фізики, а не просто міжпредметних зв'язків.

Доцільно пропонувати учням нескладні науково-дослідницькі роботи. Наприклад, опанування методиками дослідження властивостей матеріалів, які використовують у певній галузі виробництва, сприятиме кращому розумінню явищ, процесів, взаємозв'язків між елементами і одночасно формуванню практичних навичок і розвинутого логічного мислення.

Зв'язки загальних і фахових дисциплін дають можливість виявляти на нижчих і вищих рівнях освіти нові елементи, коректувати старі й, що особливо важливо, враховувати специфічні особливості навчання фаховій справі. Ці зв'язки, очевидно, існують незалежно від нас, проте їх можна спеціально створювати під час педагогічного процесу для збільшення мотивації до навчання і кращого сприйняття та розуміння інформації. Методична робота й полягає саме в оцінюванні кожного зв'язку та його розумінні, у виявленні зв'язків та їх реалізації. Скоординована методична робота визначає комплексність зв'язків, часову орієнтацію, безпосередність або опосередкованість, теоретичність чи практичність, попередність або наступність [6, с. 76].

Важливо відзначити, що виявлення та використання взаємозв'язків між дисциплінами виконуватиме позитивну роль у навчальному процесі, якщо загальна і професійна освіта спрямовані одна на одну, тобто виконується принцип наступності [20, с. 63].

Зв'язки можуть реалізовуватися в різних формах, наприклад таких, як взаємозалежність, взаєморозуміння, взаємоконтроль, взаємозумовленість, що визначаються шляхом їх встановлення. Припустимо, що елементи взаєморозуміння можуть використовуватися в фізиці і комп'ютерній графіці при підготовці операторів комп'ютерного набору (наприклад, трьох-компонентна теорія кольорового бачення — комп'ютерна графіка), а також у змісті, методах навчання, полегшуючи розуміння використання їх за певних умов. В основі розробки і впровадження в навчальний процес компонентів взаємозв'язку є поєднання політехнізму, наступності, проблемності, фаховості.

При підготовці робітника будь-якої спеціальності важливо отримувати випереджувальну інформацію щодо нових методів та засобів праці в досліджуваній галузі для корекції змісту взаємозв'язків загальних і фахових дисциплін та методів навчання, тобто використовувати прогностичний підхід у навчальному процесі. Прогностичні дослідження актуальні на всіх рівнях освіти, а особливо для розгалуженої системи професійно-технічної освіти. В результаті прогнозування отримуємо випереджувальну інформацію про найбільш ймовірний розвиток різних галузей науки, техніки, виробництва, характер і засоби праці робітників, на основі чого можна розробляти і коректувати кваліфікаційні характеристики та навчально-методичну документацію.

У зв'язку із інтенсивним розвитком науки і техніки прогностичні дослідження актуальні для системи професійної освіти. Педагогічне прогнозування дозволяє певною мірою враховувати неперервні зміни, що відбуваються в різних галузях виробництва, своєчасно готувати навчально-матеріальну базу, адекватну новому змісту, методам, засобам та організаційним формам навчально-виховного процесу, тобто з необхідним випередженням здійснювати весь комплекс заходів, які визначають рівень особистісних та професійних якостей майбутніх фахівців. Організація навчального процесу повинна забезпечити викладачам і майбутнім фахівцям можливість самовизначатись і самореалізовуватись в складних соціально-економічних умовах навчання, життя і праці. У зв'язку з цим підвищуються вимоги до науковості і творчості у навчальному процесі, рівень яких створює можливість вирішувати завдання, пов'язані із майбутньою професійною діяльністю випускників та їх конкурентоспроможністю на ринку

праці [4, с. 68]. Результатом таких прогностичних досліджень є модель підготовки фахівця конкретного профілю. У моделі в концентрованій формі представляються цілі навчання. Вона містить прогностичну характеристику галузі, прогностичні зміни в засобах, прийомах, методах праці, а також знання, вміння, навички, особливості поведінки, світогляд, риси творчої діяльності, з врахуванням індивідуальних можливостей та інтересів учнів.

Метою при навчанні фізики є політехнічне спрямування. У цьому напрямі активно повинні співпрацювати методисти і викладачі, обираючи для кожної спеціальності зміст варіативної частини предмету та використовуючи найбільш ефективні підходи і методики. Основним орієнтиром повинні бути вимоги роботодавця, і, враховуючи їх, використати прогностичний підхід до обґрунтування змісту фахових предметів і фізики. Цей шлях буде найбільш ефективним і дієвим, оскільки роботодавець потребує кваліфікованих робітників із знаннями і вміннями, відповідно до сучасних умов виробництва.

Найбільш важливою частиною методики політехнічної освіти є систематизація навчального матеріалу і навчальної діяльності студентів навколо стрижневих ідей науково-технічного прогресу. Це означає, що уже у вступі до розділу, що вивчається, викладач знайомить учнів не лише з основними ідеями фізики, але й з тією прикладною галуззю техніки, до якої він у подальшому буде систематично звертатись. Наприклад, починаючи вивчення механіки, необхідно учнів ознайомити не лише з основним завданням механіки, але й з основними ідеями механізації виробництва, а саме: транспорту, будівельної техніки, автомобілів, літаків, тракторів, комбайнів, станків на заводах тощо (відповідно до спеціальності). Особливо важливим є засвоєння таких напрямів технічного прогресу, які різко змінюють сучасне виробництво (збільшення потужностей енергоблоків, розробка обладнання для автоматизованих систем управління, розробка нових матеріалів, нових технологій виробництва тощо). З іншого боку, учні повинні не лише знати фізику та усвідомлювати використання цих знань, але й розуміти явища природи і техніки, самостійно використовувати знання у нових умовах. Успіху у цьому можна досягнути при гармонійному поєднанні різних методів навчання, враховуючи навчально-виховні цілі та фізіологічні особливості учнів, відповідно до змісту навчального матеріалу та матеріально-технічних засобів навчання. Кожній конкретній дидактичній цілі навчального процесу повинен відповідати певний метод навчання. Розуміння політехнічного спрямування навчального матеріалу досягається поясненням, інтегруванням за змістом нового матеріалу з відомим (запам'ятовування — повторення, використання за правилом — тренування із використанням алгоритму, застосування у нових умовах — творчі вправи і лабораторні роботи творчого характеру).

Зміст навчання пов'язаний із вимогами, що впливають з необхідності модернізації методів навчання, оскільки поза орієнтацією на продуктивну діяльність є неможливим вирішити проблему вибору матеріалу для навчальної програми [2, с. 24]. Педагог повинен передбачати, або в міру можливості оцінити наслідки своєї виховної і навчальної діяльності.

А. Дістервег, німецький педагог, підкреслив: «... під практичним напрямом розуміється не безперервне пристосування до майбутніх вузьких життєвих потреб, а такий спосіб навчання, при якому учневі не дається нічого, що не мало би значення для просвітлення голови, збудження добрих почуттів, укріплення сили волі» [8, с. 93].

Відбір змісту навчання фізики також повинен ґрунтуватися на прогностичному підході; зміст має бути сучасним і одночасно включати ті концепції та ідеї, які є основними у фізиці в даний час і осяжному майбутньому. Будь-які методи навчання повинні використовуватись доцільно, у кожному конкретному випадку у якості педагогічного прийому.

Основним етапом прогнозування є передбачення змісту професійного навчання. Відібрана й дидактично опрацьована наукова інформація використовується для становлення змісту навчання, який відповідатиме поставленим цілям. Це, в першу чергу, виявлення виробничих потреб підприємств певної галузі, зумовлених випуском нової продукції, появою сучасних матеріалів, приладів, вузлів, впровадженням нових технологічних операцій, автоматизацією виробничих процесів, вдосконаленням умов праці фахівців, зміною їх функцій щодо конструювання або технічного обслуговування більш складного обладнання. Така інформація повинна враховуватися хоча б кожних 2—3 роки для внесення необхідних змін в зміст навчальних

дисциплін, оптимізацію міжпредметних і внутрішньопредметних зв'язків. Нові зміни в науці, техніці, виробництві повинні впливати на зміст кожного спеціального навчального предмету.

Прогностичні дослідження покликані дати загальному системі професійно-технічної освіти, кожному навчальному закладу, зокрема, викладачам, майстрам виробничого навчання, перспективи, визначені орієнтири й деталізовані цілі навчання та виховання майбутніх робітників відповідної кваліфікації і профілю. Також ці дослідження орієнтують розробку навчально-методичної документації, планів і програм дисциплін на відображення динамічних вимог підприємств і фірм, оперативне внесення необхідних коректив у навчально-виховний процес. Відображення у цьому процесі відомостей про найімовірніші тенденції розвитку галузі дозволить скоротити період професійної адаптації випускників на робочому місці.

Прогностичні дослідження необхідно проводити системно, скоординовано і регулярно. Педагогічний аспект прогнозування є найважливішим, оскільки він пов'язаний із синтезом результатів прогнозування в суміжних галузях (науково-технічній, психологічній, соціальній тощо) і доведенням до педагогічної практики відповідних рекомендацій. Дидактичне прогнозування цілей і змісту навчання — найважливіший елемент системи професійної підготовки кваліфікованих робітників.

Знання, вміння і навички, які повинні сформуватися в закладах професійної освіти, визначаються завданнями підготовки фахівців відповідної кваліфікації і є відмінними для закладів різного профілю. Ці компоненти змінюються досить швидко і тому прогностичний підхід до їх визначення вкрай необхідний. Що стосується рис творчої діяльності, то вони практично однакові для фахівців однієї кваліфікації, але різного профілю.

І. Я. Лернер вважає, що основними рисами творчої діяльності є: самостійне перенесення знань і вмінь в нову ситуацію; виявлення нових проблем в знайомих стандартних ситуаціях; бачення структури об'єкта, що вивчається; вміння бачити альтернативу рішення; вміння комбінувати раніше відомі способи вирішення проблеми в новий спосіб; вміння знаходити оригінальний спосіб вирішення інших відомих проблем [15, с. 27].

Отже, прогностичний підхід дасть можливість удосконалити процес навчання завдяки оновленню змісту дисциплін; вивчати лише те, що необхідне для спеціальності; переводити усі компоненти педагогічного процесу з одного циклу дисциплін в інший, з теорії в практику і навпаки, створюючи дидактичні блоки інформації.

Б. С. Гершунський визначає, що зміст професійного навчання — це педагогічно обгрунтована, логічно впорядкована і текстуально зафіксована в навчальних програмах наукова інформація про навчальний матеріал професійного спрямування, представлений в згорнутому вигляді, що визначає зміст навчальної діяльності педагогів і пізнавальної діяльності студентів, з метою оволодіння усіма компонентами змісту професійної освіти відповідного рівня і профілю [4, с. 186].

Зміст навчання представлено в навчальних програмах на рівні послідовності термінів, фактів, понять, теорій, законів, методів, принципів. В навчальному матеріалі усі ці компоненти розкриваються у вигляді пояснень, формулювань законів, навчально-пізнавальних задач тощо. Навчальний предмет виконуватиме свої функції, якщо кожна тема, кожне заняття буде спрямоване на формування компонентів змісту освіти.

У будь-якій дисципліні і, зокрема, у фізиці виділяють інваріантну та варіативну частини. Інваріантна частина знань формується однаково для усіх фахівців, а варіативна піддається корекції в зв'язку з появою нових технологій у різних галузях. Такий підхід вимагає розробки методик навчання, які дають можливість зберегти логічну та змістову єдність дисципліни, застосовувати єдину термінологію, принципи та методи основ наук, що забезпечить ефективніше формування професійних вмінь і навичок, використання всієї системи наукових знань. Наприклад, розділ «Механіка» у професійно-технічних закладах освіти лише повторюється після вивчення в школі. Проте цей розділ є фундаментом для опанування будь-якої робітничої спеціальності. Проте для кожної спеціальності (автобудівництво, будівництво, кухарство тощо) необхідно акцентувати увагу на різних питаннях механіки. Тому не лише доцільним, але й необхідним є професійно спрямоване повторення основ механіки, а також узгодження загальних знань з механіки із певними її елементами у фахових дисциплінах.

Наведемо деякі рекомендації, що стосуються професійно спрямованого навчання елементів механіки у професійно-технічних навчальних закладах тих профілів, де вони є основою для формування спеціальних знань. Прикладом може бути вивчення простих механізмів, різного виду передач руху, фізичних властивостей матеріалів, способів їх обробки тощо. Такі знання з фізики знаходять застосування у будівельній справі, транспорті, зв'язку, зокрема, при вивченні теплових й електричних машин тощо. Однак, з педагогічної точки зору, вивчати фізичні основи автомобільної, будівельної справи в курсі фізики недоцільно. Достатньо показати лише застосування законів науки для пояснення питань техніки і виробництва. Приклади та ілюстрації технічного застосування фізики повинні органічно поєднуватися з фізичним матеріалом і пояснювати головні явища без надто важких для техніки подробиць. Для будівельних спеціальностей особливу увагу треба звернути на кінематичні характеристики й закони динаміки, статику. Наприклад, на питання використання різного нахилу стріли в підйомних кранах, причини великих розмірів таких кранів, врахування тертя в підшипниках блоків, похилі площини, блоки, лебідки, як складові частини машин і механізмів. Знання умов рівноваги тіл дає можливість розрахувати складові діючих сил та принцип дії машин і механізмів, транспортних засобів. Стійкість будівель, мостів та інших конструкцій залежить від положення центру тяжіння. Коефіцієнт стійкості характеризує моменти перекидання і моменти відновлення рівноваги. Для робітників сфери обслуговування важливим є знання механічних властивостей речовин (твердість, крихкість, міцність, вібрації, звукопоглинання, звукопроникливість тощо) та вплив на їх стан зовнішніх чинників (теплових, атмосферних тощо).

Важливим є дослідження динамічних особливостей транспортування вантажів вертикально та по похилій площині, зі змінним кутом нахилу. Розв'язуючи такі задачі, учні бачать необхідність використання двигунів різної потужності, канатів різної міцності. Тут також необхідно проаналізувати діючі сили, їх природу та вміння застосувати закони динаміки для описання руху.

Акцентування уваги на цих питаннях в курсі фізики полегшить сприйняття учнями матеріалу, об'єднає ці поняття в систему, що сприятиме правильному і більш ефективному їх використанню в майбутній діяльності.

При вивченні матеріалознавства та спецтехнологій учні, натрапляючи на відомі з механіки поняття, їх похідні, усвідомлюють, що фізична суть цих понять незмінна, а лише враховуються реальні характеристики матеріалів в конкретних умовах. У цьому курсі вони розвивають і конкретизують знання про механічні властивості тіл, які вивчалися в механіці, що дає можливість систематизувати знання, аналізувати зміни, впливи зовнішніх чинників, підбирати необхідні матеріали в конкретних цілях, тобто з дидактичної точки зору правильно трактувати поняття, явища, логічно і послідовно формувати фахові знання та вміння.

Для слюсарів акцент необхідно зробити на закономірності обертового руху (кінематика і динаміка): сила тиску на матеріал при різанні залежить від кута між лезом і напрямом швидкості обертання (повинен бути однаковий тиск на ріжучу поверхню, а для цього кут має бути сталим). Обробка матеріалів (свердлування, обпилювання), із врахуванням різних видів деформації, обробка матеріалів тиском вимагають знання механічних властивостей матеріалів. Такі знання властивостей матеріалів допомагають своєчасно усувати несправності, пов'язані зі зміною властивостей матеріалів внаслідок спрацювання, викривлення, корозії, а також оптимально підбирати та використовувати матеріали для роботи за їх властивостями.

Фахова підготовка молодшої медсестри вимагає знань з гідродинаміки (шприц, інгалятор тощо), акустики, впливу фізичних чинників на організм (вологість, ультразвук, інфразвук, вібрації, шум). Це дозволить краще зрозуміти методи діагностики і фізіотерапії, а також методи запобігання дій негативних факторів на організм.

Для фахівців сфери обслуговування необхідне глибоке розуміння принципів роботи машин і механізмів, оскільки ця галузь теж автоматизована. Такі знання учні отримують у фахових дисциплінах, а при вивченні фізики закладають фундамент для їх розуміння. Наприклад, в задачах з кінематики можна поставити завдання з розрахунку кінематичних характеристик і графічного дослідження руху вантажів на нитці, що намотана на двохциліндровий барабан з радіусами  $R_1$  і  $R_2$ . Відзначити, що при однакових характеристиках обертального руху барабана,

але за різних умов накручування, кінематичні характеристики поступального руху вантажів можуть бути однаковими за модулем, а також можуть суттєво відрізнятись. Це завдання має професійне застосування, тому зумовлює необхідність попереднього розгляду його в курсі фізики.

Потрібно відзначити, що крім традиційної технології, заснованій на використанні механічної форми руху (різання, штамповка тощо), на сучасному виробництві застосовуються технології, засновані на фізичній, хімічній і біологічній формах руху матерії (електрогідравлічний ефект, плазмова технологія, магнітно-імпульсні методи та інші) [6, с. 37]. Зважаючи на істотні постійні зміни в засобах і методах праці, важливим є технологічне спрямування навчального процесу. Розробка нової техніки, використання нових матеріалів з необхідними властивостями, зміна технологічних процесів у виробництві потребують нової якості знань: орієнтація у методах пізнання, вміння переносити знання з однієї галузі в іншу (фахову). Технологія включає процеси, методи та алгоритм діяльності. Основу для розуміння технологій виробничих процесів дає фізика. В курсі фізики учні, крім формування знань про властивості матеріалів та вибір їх з певною метою, опановують принципи функціонування електричних, електронних систем та здобувають вміння інтерпретувати отримані результати, користуватись апаратурою й устаткуванням, визначати точність і надійність приладів. Ці технічні знання спонукають учнів — майбутніх фахівців — до творчої праці.

З іншого боку, засвоєння технологічних процесів дає можливість логічно осмислити фундаментальні основи функціонування технічних засобів. З цією метою доцільно використовувати методичні матеріали, а саме, практичні завдання, які вимагають від учнів виконання взаємопов'язаних логічних дій, що сприятиме формуванню технічного мислення, навичок роботи з механізмами й приладами, розумінню кінематичних взаємозв'язків і взаємодії систем машин та механізмів. Виконання таких завдань допоможе зрозуміти технологію процесів виробництва та підвищить мотивацію до творчої праці. В основі цих робіт лежить синтез знань з фізики та професійних знань, які поєднують змістове узагальнення понять, вмінь і навичок, а також використання фізичних методів дослідження. Завдання охоплюють зміст профілю навчання, проте не в глибинному розумінні, а лише як демонстрацію застосування прикладних питань.

Професійно спрямовані завдання не повинні бути суто професійними в курсі фізики, вони повинні мати лише зміст, споріднений з фаховим, щоб зрозуміти зв'язок фізики і вузьконаправленої дисципліни для збільшення мотивації до навчання і поглиблення знань. Тобто не потрібно підміняти фахових дисциплін, оскільки вони мають свої особливості, якими володіє лише фахівець.

Підготовка робітників різного профілю у ПТНЗ потребує розробки практичних завдань і задач різного спрямування. Наприклад, для працівників сфери обслуговування задачі — 1, 2, 3, а для технічних спеціальностей — 4—8:

1. Під час важкої фізичної праці серце людини скорочується до 150 разів за хвилину. При кожному скороченні здійснюється робота, що дорівнює роботі з підняття вантажу масою 0,5 кг на висоту 0,4 м. Яку потужність розвиває серце в цьому випадку?
2. Якщо розглядати передпліччя руки як важіль, то плече цього важеля, на яке діє м'яз, значно коротше від плеча, на яке діє вантаж, що знаходиться в руці. Їх співвідношення дорівнює приблизно 1:12. Знайти силу м'язу, який утримує вантаж, якщо вона діє під кутом  $90^\circ$  до поздовжньої осі передпліччя. Маса вантажу в руці 10 кг.
3. При перевірці зору людина чітко бачить букви на відстані 0,16 м від ока. Знайти недолік ока. Окуляри якої оптичної сили їй потрібні?
4. На стрічку конвеєра щохвилини з площадки пресу скидається 50 цеглин. Цеглини лягають так, що відстань між їх центрами дорівнює 0,5 м. З якою швидкістю рухається стрічка конвеєра?
5. Швидкість пересування крокуючого екскаватора при роботі 0,18 км/год. На яку відстань переміститься екскаватор за 5 хвилин? Зобразити графічно.
6. Чому при прискореному русі автотранспорту витрачається більше пального, ніж при русі з постійною швидкістю?



7. Коли мостовий кран починає приводити в рух вантаж, останній відхиляється в бік, проти-  
лежний рухові. Як це пояснити?
8. Чому при тій самій потужності двигуна навантажений автомобіль рухається повільніше,  
ніж ненавантажений?

Програма з професійно орієнтованого навчання фізики не повинна дуже відрізнятися від звичайної. Головна відмінність полягатиме у глибині засвоєння матеріалу, що забезпечується ефективною методикою навчання. Ефективність засвоєння зростає завдяки тому, що значна частина навчального матеріалу опановується при виконанні лабораторних робіт та розв'язуванні розрахункових завдань, що сприяє кращому засвоєнню теоретичного матеріалу.

Формуючи логіку мислення, викладач керується тим, щоб методи і засоби, які він використовує, активізували пізнавальну діяльність учнів, щоб їх знання глибоко усвідомлювались. Для цього під час заняття створюються проблемні ситуації. Наприклад, для створення проблемної ситуації при розгляді дії звуків на здоров'я людини в задачі можна розповісти про випадок в лабораторії електроакустики в Марселі (Франція) при випробуванні генератора інфразвуку. Під час експерименту в дослідників вібрували всі органи тіла. Генератор вимкнули, проте ще деякий час дослідники почували себе дуже стомленими. Тоді ставимо запитання, як можна пояснити цей випадок, якщо знаємо, що являє собою інфразвук, до якого виду хвиль він належить, як поширюється, що таке резонанс? Іншим прикладом може бути шкідливість шумового забруднення середовища (транспорт, побутова техніка, радіо, телебачення тощо). Можна поставити питання: «Які звуки для людини найбільш шкідливі і від яких параметрів залежить їх сприйняття?» та обговорити відповіді на них.

Для розвитку в учнів вміння обґрунтовувати власну думку необхідно попередньо ознайомити їх з переліком питань, відповіді на які вони можуть знайти при вивченні запропонованої теми навчальної програми. Тут можна розглянути такі питання: чому штучний шум (наприклад, працюючих машин) чинить негативний вплив на живий організм, а природні звуки (шум дощу, шелест листя) діють позитивно? Шум — лише ворог, чи він може приносити користь?

У процесі виконання лабораторних робіт формуються технічні практичні вміння і навички. Це важливий засіб формування пізнавальної діяльності учнів впродовж навчання. Засвоєння основ загальної фізики відбувається більш ефективно, оскільки лабораторні роботи дають можливість повніше враховувати спеціалізацію учнів, сприяючи наповненню теоретичних зв'язків між явищами та конкретним фізичним змістом. Виконуючи такі роботи, учні знайомляться з фізичними приладами, методами і методиками, які в майбутньому будуть використовувати у фахових дисциплінах, набувають навичок проводити вимірювання, представляти результати у вигляді таблиць та графіків; визначати точність приладів і вірогідність отриманих результатів; набуті вміння використовувати метод моделювання тощо.

В усіх видах фізичного експерименту формуються емоційно-вольові якості фахового робітника: демонстраційні представлення викладача, фронтальні лабораторні роботи, які проводяться під керівництвом викладача, постановка завдання учням з метою самостійного вибору методу його вирішення, виконання протягом року значної кількості лабораторних робіт за різними методиками. Кожен з цих видів фізичного експерименту сприяє реалізації певних дидактичних цілей. Під час виконання лабораторних робіт викладач має можливість перевірити теоретичні знання учня, виявити вміння самостійно аналізувати явища та закономірності, вміння інтерпретувати отримані результати і передбачати їх використання або прояв в інших ситуаціях, а також вміння проводити статистичну обробку результатів, визначати похибку експерименту. Викладач також може, в разі необхідності, своєчасно вносити корективи у формування експериментальних вмінь і навичок.

Під час виконання лабораторних робіт і вирішення ситуаційних завдань краще засвоюються теоретичні знання і формуються мануальні навички. Вміння підбирати необхідні прилади та інструменти, оцінювати і аналізувати результат сприяє формуванню технічного мислення. Завдання для учнів повинні бути наростаючої складності, і тоді поступово формуватиметься певна мисленнєва операція, а у більш складних задачах такі операції інтегруються.

Саме тому стандартний лабораторний практикум необхідно доповнювати професійно орієнтованими лабораторними роботами.

Підвищенню мотивації до навчання та його ефективності сприяє розв'язування фізичних задач з виробничо-технічним змістом. Ми поставили експеримент: провели контроль знань учнів, пропонуючи вирішити однотипні завдання з фізики традиційного і виробничо-технічного змісту. Результати контролю показали, що зацікавленість учнів більша, якщо завдання мають виробничо-технічний зміст (кількість учнів вказана у відсотках): при традиційному змісті завдань — 38% — 41%, при врахуванні фахових питань — 59%-65%. Опитування студентів щодо того, які вони хотіли б розв'язувати завдання — традиційні чи фахового спрямування — відповіді виявились такими: традиційного фізичного змісту — 17%-26% а фахового спрямування — 69%-80%.

Професійне спрямування навчання фізики вимагає пошуку власних резервів, аналізу стилю, методики та організаційних форм навчання. Комплексне використання теоретичних і лабораторних занять, які розробляються з урахуванням специфіки фаху, вдосконалення кожного компоненту цього процесу сприятимуть інтеграції фізичних знань і вмінь з фаховими навичками.

Умовою формування технічного мислення є постійний взаємозв'язок між теоретичними і практичними знаннями та діями. Важливим є вміння уявляти просторові образи об'єктів у динаміці, однак образного мислення буде недостатньо без знання і вміння оперувати технічними поняттями. Ці поняття пов'язують закони природи і виробництва.

Логічне і технічне мислення дає можливість реалізувати мету навчання — вміння вибрати необхідні засоби праці, прийоми роботи з ними для вирішення експериментальних та виробничих завдань.

Виконання лабораторних робіт з фізики дає можливість експериментувати, змінювати умови досліду, аналізувати отримані результати, бачити перспективи використання отриманих результатів у повсякденному житті або на виробництві.

Формування технічного мислення неможливе без володіння методами пізнання (абстрагування, аналіз, синтез, порівняння тощо). Воно відбувається поетапно, тому, приступаючи до виконання будь-якого завдання, його необхідно спланувати, тобто розробити алгоритм роботи.

Розв'язуючи задачі або виконуючи лабораторну роботу, учень аналізує технічні пристрої (з яких матеріалів вони виготовлені, за яких умов можуть оптимально функціонувати, які їх робочі параметри тощо), а також оперує числами і математичними рівняннями. Важливо, щоб учень міг переносити знання з однієї ситуації в іншу, вмів бачити прояв закономірностей і явищ у різних подібних ситуаціях. Емоційний стан людини при виконанні завдання, а саме, впевненість у своїх діях, можливість комбінувати знання і вміння, підбирати різні методи і прийоми, іноді вміти фантазувати, також сприятиме ефективності навчання.

Для того, щоб теоретичні положення перетворилися на метод, необхідна їх трансформація у конкретні принципи та прийоми наукового дослідження. Тобто, щоб стати методом, теоретичне знання повинно бути доповнено вказівкою про те, що, як і за яких проблемних ситуацій необхідно застосувати, щоб одержати нове знання, до того ж найбільш коротким, ощадливим та ефективним шляхом.

Лабораторні та практичні заняття є формою застосування знань з фізики, які дають можливість працювати самостійно та під керівництвом викладача і набувати вмінь та навичок застосовування теоретичних знань на практиці, навичок проведення вимірювань, користування приладами, інтерпретації результатів. Саме лабораторні заняття займають проміжне місце між теоретичними знаннями та їх практичним використанням.

Зв'язок окремих тем фізики і профільних дисциплін зі збереженням логіки та послідовності їх вивчення дасть можливість введення єдиної термінології, розуміння законів і теорій та вміння застосовувати їх для пояснення виробничих процесів та виконання фахових функцій.

З цією метою необхідно поєднати зусилля усіх педагогів щодо чіткого формулювання завдань, мотивації до їх впровадження, розподілу функцій між викладачами фізики та викладачами фахових дисциплін, узгодження методів і засобів виконання поставлених завдань, а також корегування роботи та методики навчання.



Отже, для професійно спрямованого вивчення фізики необхідні організаційні форми і методичне забезпечення, яке передбачає створення такої системи викладання та навчання, яка максимально сприятиме засвоєнню майбутніми фахівцями основ класичної та сучасної фізики, основних фізичних методів дослідження, формуванню наукового світогляду та сучасного мислення.

В основі нової парадигми освіти лежить поєднання методології і технології навчання і виховання, причому значна уваги процесі навчання приділяється вихованню.

У педагогіці якість знань відображає ступінь відповідності результату поставленій меті. Основними характеристиками якості навчання є високий рівень знань з навчального предмету, вміння застосовувати знання на практиці, отримання знань, достатніх для самоосвіти і подальшого навчання, вміння здобувати самостійно знання, формування суспільно-ідейної освіченої людини.

«Якість навчання не є модою, не є формою керівництва, вона є умовою виживання людини в суспільстві, і тому навчальні заклади спонукають людей діяти ефективно» (викладач Лісабонського університету Марія Мендонсу).

Учень повинен ставити власні цілі, мати бажання, планувати свою діяльність, самоорганізовуватись для виконання запланованої діяльності, здійснювати постійно самоконтроль і самооцінку та нести відповідальність за результати самовиховної роботи. Викладач, в свою чергу, створює оптимальні педагогічні умови для самостановлення, саморозвитку і самореалізації особистості з позитивними якостями з точки зору загальнолюдських цінностей. Гармонійне поєднання природничих та гуманітарних знань і на цій основі формування стилю мислення є передумовою самоосвіти і продуктивної пізнавальної та трудової діяльності.

Підвищення якості навчання можливе при інтенсивному навчальному процесі, систематичному засвоєнні відповідного матеріалу, підвищення мотивації та відповідальності за результати навчальної діяльності, психологічного розвантаження студентів завдяки оптимальній схемі контролю знань протягом року, контролю якості викладання та вживання своєчасних виховних і дидактичних заходів, забезпечення диференціації та індивідуалізації шляхом підбору великої кількості різнопланових завдань, стимулювання активної навчальної та творчої пізнавальної діяльності.

Дидактика фізики виходить із принципу вивчення явищ лише в їх взаємозв'язку. Недостатньо зафіксувати факт, що учні мають низький рівень знань і вмінь з фізики, необхідно виявити причину цього: чи важка програма, чи раціональна структура і зміст підручників та методичних посібників, чи є недоліки у методах навчання? Оскільки процес вивчення фізики складний і кожне його явище може бути зумовлене декількома одночасно діючими факторами, то вивчення взаємозв'язків між цими явищами має вагоме значення.

Стимулювання інтересу учнів до вивчення фізики і техніки, розвитку мислення, пізнавальних і творчих здібностей, формування світогляду — це запорука ефективної підготовки фахівця. У правильно організованому навчальному процесі викладання і навчання відбувається одночасно. Учні повинні активно і емоційно працювати на занятті, оскільки їх відношення до навчання проявляється не лише у розумовій і предметній діяльності, але й у емоціях. Як відзначав А. Ейнштейн, що «... там, де лише можна, учіння повинно стати переживанням, і цей принцип, напевно, повинен проводитись у життя шляхом реформування школи».

Проблеми дидактики фізики вирішуються, виходячи із таких начал як потреби практики до вивчення фізики; вивчення методики і техніки експерименту, запитів суспільства до фізичної освіти; внутрішньої логіки розвитку дидактики фізики і її окремих частин.

Ми провели експеримент, в результаті якого прагнули виявити, які форми навчання найбільше сприяють професійному розвитку, які проблеми виникають в учнів у процесі навчання; оцінити необхідність змін у навчальному процесі, рівень якості складових навчального процесу, основних складових освітніх послуг та ефективність форм контролю знань у навчальному процесі, якість послуг, які забезпечують процес навчання.

В якості експертів були запрошені методисти професійно-технічних закладів освіти. Їм пропонувались запитання стосовно ефективності існуючої навчально-методичної документації та матеріально-технічної бази в ПТНЗ з варіантами відповідей.

Відповіді оцінювались за десятибальною системою. Розбіжність оцінок була у межах двох відсотків. Експерти відзначили, що на якість навчання негативно впливає недостатнє засвоєння учнями шкільного матеріалу і складно представлений навчальний матеріал у підручнику та посібниках, а також те, що практичні заняття не проводяться фронтально, слабо поєднана теорія і практика.

Як відзначила більшість експертів, ефективність навчання значною мірою, покращується, якщо матеріал подається цікаво, якщо він професійно спрямований і якщо викладач спеціальними прийомами заохочує і допомагає учням у самостійному поповненні знань.

Підвищенню якості навчання найбільш сприятиме висока професійна компетентність викладача, культура викладання, відповідність методів навчання дидактичним цілям (проблемні ситуації, ділові ігри, аналіз ситуацій тощо).

На думку експертів, неякісним є матеріально-технічне забезпечення і відсутність достатньої кількості навчально-методичної літератури.

Методи контролю передбачають не лише перевірку рівня знань, але й сприяють поповненню і поглибленню їх. Найбільш ефективними із них є діалог з викладачем, постановка і вирішення проблемних ситуацій, практичні заняття із подальшим захистом.

Позитивним змінам у якості знань учнів, на одностайну думку експертів, сприятиме індивідуальний підхід у навчальному процесі, оптимальне співвідношення між лекційним курсом і практичними заняттями, проведення підсумкових занять з основних тем, із елементами професійних знань та вмінь.

Отже, фізика повинна дати учням систему знань на сучасному рівні її розвитку, збагатити пам'ять, розвинути мислення і творчі здібності, сформувати світогляд, дати політехнічну освіту, тобто розкрити фізичні основи техніки, підготувати учнів до праці. Досягти успіху можна шляхом спеціального, науково обґрунтованого підбору навчального матеріалу та відповідних методів і засобів навчання.

Навчальний предмет «Фізика» виконує освітні та виховні функції і є дидактично опрацьованою сукупністю фізичних знань і вмінь. Проте проблемою її як елементу освіти є конкретний зміст шкільного і вузівського курсів, співвідношення експерименту і теорії у навчанні, виховання творчого мислення, використання інтегративних методів у навчанні, методологічних основ фізичної науки, прогностичний підхід до розробки і постійного удосконалення навчально-методичної документації.

Пояснення фізичних явищ, виходячи з їх механізму, спрощує і полегшує учням засвоєння знань з фізики, вводячи мисленнєвий елемент і наочність, звільняє їх від запам'ятовування великої кількості формул і формулювань. Учень починає відчувати можливість самостійно розбиратись в численних проявах елементарних актів. Такий підхід дає майбутнім фахівцям тверду основу як під час навчання, так і у виробничій діяльності, готує до сприйняття прогресу в науці і техніці, знайомить з методами творчого мислення.

Неможливо не знати того, серед чого ми живемо, так само неможливо уявити підготовлену і різнобічно освічену людину, яка не здатна бачити появу нових ознак у явищах навколишнього світу, при переході до інших умов.

Раніше вважалось, що шкільний курс фізики є лише попереднім етапом до вищої школи, що можна дещо опустити і воно надолужиться на наступному етапі освіти. Однак ситуація змінилася. Нестача кваліфікованих робітників вимагає розширення середніх спеціальних навчальних закладів, і далеко не всі випускники шкіл вступатимуть до вищих навчальних закладів. Тому на виробництві будуть працювати робітники з тим запасом знань, яких набули у школі і ПТНЗ. Ці знання повинні бути фундаментальними, щоб давати правильну уяву про те, що у фізиці є незавершені і непочаті дослідження. Після школи і ПТНЗ фізика повинна бути корисною в роботі фахівця, служити основою його світосприйняття, формувати кругозір, творчі здібності, активне ставлення до навколишнього світу і бути орієнтиром у важливих напрямках розвитку науки і виробництва.

На жаль, часто спостерігається психологічний розрив між тим, що дає наука, і тим, що розглядається в школі і ПТНЗ. Якщо учням у школі і ПТНЗ не давати необхідного об'єму практичних знань, то такі фахівці не прагнутимуть пошуку наукового обґрунтування будь-якому новому факту, явищу, а отже, не будуть творчими робітниками.

У навчальний процес необхідно вносити новий матеріал, проте лише тоді, коли він дає достовірно оформлені результати. Іноді даються сучасні проблеми наукового дослідження, учні знайомляться з ними з популярної літератури і при цьому може виникнути деяка інтелектуальна зверхність і вихваляння своїми знаннями. У фізиці неможливо досягти успіхів, якщо вивчати матеріал не послідовно, тому що порушуватиметься логіка і це спричинить незрозуміння матеріалу. Строгість викладання матеріалу, очевидно, передбачає побудову курсу на основі загальних сучасних теорій і подачу класичної фізики як окремого випадку. Однак, у наш час ще не визначені межі використання сучасної теорії. Щоб навчити учнів «як думати», потрібно привчити їх до думки, що кожна теорія має свої межі застосування.

Ознайомлення учнів з новими поняттями без вивчення взаємодії старих і нових, тобто без обговорення пошуків, відкриттів, які привели до подальшого прогресу у науці, позбавляє викладання дисципліни творчого характеру і виховного впливу на учнів.

Розгляд того чи іншого питання у історичному плані може дати цікаві вказівки щодо методу викладання наук, а також, дає учням уяву про умови, в яких розвивалась наука.

Людина, яка починає вивчати фізику, добре уявляє собі лише макроскопічний світ. Вона продовжує розвиток наукового мислення при вивченні цього світу, а саме, вивчаючи класичну фізику. За бажанням, на наступному етапі людина може вийти за межі цієї розробленої галузі, вивчати більш тонкі області (квантову фізику тощо).

Отже, виходячи із логіки формування знань, на нашу думку, класична фізика повинна зберегти ведучу роль не лише у шкільній, але й у початковий період вищої освіти.

Програми середніх навчальних закладів показують, що викладання природничих дисциплін у більшості випадків зводиться до ознайомлення учнів з фактами і законами. Учні заучують закони, формули, які виражають ці закони, та ознайомлюються з їх прикладним значенням. Кінцевою метою навчання є наступне практичне використання отриманих знань у будь-якій професії. Такий метод викладання сухий, не цікавий і формує в учнів неправильну уяву про науку. Проте нашим завданням, завданням викладачів, є підготовка фахівців, які усвідомлюватимуть неперервний розвиток науки та її гуманітарну цінність. Це має особливе значення для тих, хто присвятить себе науковій роботі, але й є ще більш важливим для того широкого загалу, для якого все знайомство з наукою обмежується шкільним курсом і ПТНЗ.

Викладачі повинні бути ознайомлені з роботами класиків фізичної науки, що особливо важливо для розвитку творчих фахівців, формування методологічних засад, які сприятимуть успішній орієнтації у потоці інформації, оцінюванні її значимості та важливості.

Фізика — складна наука. Вона включає не лише систему знань, але й певну галузь суспільно-виробничої практики, процес «добування» знань. Дидактичний принцип науковості на сучасному етапі вимагає не лише відповідності змісту навчання сучасному рівню наукових знань, але й формування в учнів знань про основні закономірності і шляхи розвитку науки, методи наукового пізнання.

В наш час, коли основним показником ефективності навчання є не лише сума засвоєних конкретних знань, а й сформованість вмінь і навичок самостійного поповнення знань, викладач навчає учнів відрізняти головне від другорядного, фундаментальне від прикладного, вчить розуміти структуру знань. Практика показує, що у школі в учнів недостатньою мірою формується поняття про фізику як єдину систему знань про природу, яка постійно розвивається. Фізичні знання переважно утворюють у свідомості учнів масу розрізнених фактів і законів, тому вони часто погано орієнтуються у тому, що лежить в основі як визначення, а що є результатом досвіду; що необхідно розглядати як теоретичне узагальнення цих експериментальних знань. І саме причиною такого явища є відсутність у змісті навчання фізики методологічних знань, тобто знань про методи наукового пізнання, структуру фізичної науки, основні закономірності її розвитку.

Ознайомлення учнів з елементами історії і методології фізики сприяє заохоченню їх до загальнолюдської культури, зближенню суспільно — гуманітарного, природничо-наукового і технічного циклів дисциплін, долаючи протиріччя між гуманітарною і технічною освітою.

Одним із завдань навчання фізики є формування світогляду учнів — системи поглядів, ідеалів, у яких людина виражає своє відношення до навколишнього середовища. Засвоєння

таких основних фізичних принципів як закони збереження, корпускулярно-хвильовий дуалізм, відносність і інваріантність, відповідність, динамічна і статистична закономірність тощо, складає важливий етап у формуванні світогляду.

Ідея виникає у людини швидше, коли проводиться експеримент, а ніж через примітивне сприйняття слуховим аналізатором деякої інформації. Ще у перших книгах з фізики відзначалось, що «... при викладанні необхідно мати фізичні інструменти, щоб показати учням їх використання, а властивості тіл і явища пояснити на дослідах так, як вони природно відбуваються» [22, с. 179].

У 1871 р. Д. К. Максвелл, читаючи лекцію перед слухачами Кембриджського університету, відзначив, що навчання досягає мети, коли учень вміє використати отримані знання для відповіді на запитання, які йому ставить природа і життя. Зв'язок фізики із життям і технікою відмежовує учня від механічного заучування, постійно включає його розумові здібності, привчає перевіряти на практиці вірогідність отриманих знань. Наука представляється людині у зовсім іншому вигляді, коли ми виявляємо, що можна побачити фізичне явище не лише в аудиторії на таблиці, або з допомогою проектора на екрані, а й можемо знайти ілюстрацію різних досягнень науки в іграх, гімнастиці, у природі, повсюди, де є матерія у русі. Ця звичка розрізняти першопричини серед різноманіття їх дії не знижує нашого відчуття величності природи і не зменшує можливостей насолоджуватись її красою. З психологічної точки зору Д. К. Максвелл відзначив «... коли ми можемо в процесі навчання фізики використати не лише зосереджену увагу студента і його знайомство із символічними позначеннями, але й гостроту його ока, вуха, тонкість сприйняття, тактильні відчуття, ми не лише впливаємо на учнів, які не люблять холодних абстракцій, але й, розкриваючи усі ворота пізнання, забезпечуємо асоціації цих наукових доктрин з тими елементарними відчуттями, які утворюють фон усіх наших свідомих думок і надають блиску і рельєфності ідеям, які, будучи представлені у абстрактній формі, можуть зовсім зникнути з пам'яті [16, с. 194].

Отже, навчаючи учнів фізики, необхідно їх стимулювати до експериментування, особливо тих явищ і процесів, які відбуваються за звичайних природних умов. Учень глибше розуміє ідею, яку ілюструє дослід, якщо матеріал для ілюстрацій простий. Чим складніші прилади, тим виховна цінність дослідів буде меншою. Якщо учень може розібрати установку, то він може й більшому навчитись. Ілюстративні досліді можуть бути різними: деякі можна виявити у повсякденному житті, інші — шляхом демонстрації явищ, які проявляються лише за певних умов. Експеримент повинен відповідати естетичним вимогам; гарний експеримент може бути ціннішим, ніж багато наданих формул. Кожне таке дослідження спирається на певну теоретичну гіпотезу. Отже, спочатку є деякий аналіз, уява, а потім виникає необхідність перевірити це дослідним шляхом.

Нобелівський лауреат фізик Р. Ф. Фейнман у книзі «Фейнмановские лекции по физике» писав: «Вивчаючи фізику, ви бачите, що існує велика кількість складних і дуже точних законів: закони гравітації, електрики і магнетизму, закони ядерних взаємодій тощо. Але усе це різноманіття окремих законів має деякі спільні принципи, які тією чи іншою мірою відображені в кожному законі. Прикладами таких принципів можуть бути закони збереження, деякі властивості симетрії, загальна форма квантово-механічних принципів» [24, с. 13].

Вивчаючи теоретичний матеріал, ми працюємо з моделями реальних речей і процесів. Ідеалізація, як метод пізнання, має фундаментальне значення при (вивченні фізики) Неможливо опанувати знання з фізики без математики. Р. Ф. Фейнман відзначає, що «... математика приносить користь фізиці там, де мова йде про деталі складних явищ, якщо встановлені основні правила гри... Неможливо чесно пояснити всю красу законів природи так, щоб люди сприймали їх одними відчуттями, без глибокого розуміння математики» [24, с. 14].

Однак зловживати математичним апаратом теж не слід. Основну увагу необхідно зосереджувати в школі і ПТНЗ на якісній, фізичній стороні справи. Коли учень вивчає деякі поняття теоретичної фізики, то труднощі виникають не в математичній формі, а, швидше, в фізичній суті, тобто складання рівнянь та його інтерпретація є завжди важчим етапом, ніж його розв'язання. Наприклад, вивчаючи механіку необхідно, щоб аналітичні вирази для швидкості,

шляху, прискорення тощо були природним завершенням глибокого розуміння механічних співвідношень.

У процесі навчання фізики розкриття фізичного змісту понять відбувається поступово. Ознайомлюючись з різними явищами з допомогою демонстраційного і лабораторного експерименту, проводячи певні вимірювання, учень може досягнути суті фізичного поняття у його конкретному розумінні. Засвоївши певне поняття, він може його використати для опанування інших фізичних понять. Це буде логічний шлях навчання і ефективний для розуміння фізики.

З психологічної точки зору людина виділяє і фіксує в пам'яті ті загальні риси окремих (закарбованих в пам'яті фактів), які повторюються і які для неї важливі. Цей процес не залежить від людини і приводить до утворення понять. Вони не завжди мають строге визначення. Наприклад, розглядаючи рідини, зауважимо, що вербальне пояснення не дасть потрібного навчального ефекту; необхідно продемонструвати різні рідини (вода, ртуть, спирт, олія тощо), проаналізувати їх властивості і тоді зробити висновки. Одними словами початкові фізичні поняття пояснити не можна. Тому самого вчителя і підручника недостатньо, щоб вивчити фізику. Учень повинен йти дослідницьким шляхом, хоча б поверхово, щоб самому бачити, чути, відчувати тактильно ті явища, про які йому говорять.

Автор підручника з фізики І. А. Кікоїн говорить про необхідність поступового і систематичного формування наукових понять в процесі навчання: «... Механіка допомагає розраховувати положення тіл у майбутньому (польові ракети) і тим паче — в минулому. Якщо викладач вважає, що «вивчити щось, щоб більше не повертатися», то така робота не має сенсу. Вивчаючи нове і повертаючись до поставленої основної задачі, учень повинен розуміти, що наука — це логічний ланцюг не «придуманих» законів» [9, с. 3]. Для цього, виходячи з теорії пізнання, вводити нові поняття необхідно органічно і тонко, показуючи природну необхідність кожного, з задоволенням сприймаючи знайдене рішення. Ні в якому разі не давати поняття одні і ті самі у різних дисциплінах так, щоб учень мусив би переучуватись, тобто пристосовуватись до інших визначень чи позначень. Учні повинні постійно доучуватись, піднімаючись на вищий рівень знань.

Якщо формувати наукові поняття при вивченні фізики, то в учнів буде одночасно розвиватися фізичне і математичне мислення і набуватимуться навички інтелектуальної праці. Це дає підставу стверджувати, що учнів потрібно вчити не тому, що вони повинні думати, а як думати. Більше необхідно спостерігати самому, а не постійно читати і повторювати чужі слова. Вивчення природничих наук є прекрасною школою для розуму.

Людина повинна завжди внутрішньо відчувати, що вона ще не знає багато того, що знають інші, тому самоосвіта повинна продовжуватись усе життя. При вивченні фізики послідовно формується методичне мислення, тому учні можуть зачувати формули, добре їх пам'ятати і вміти трактувати.

Отже, головною умовою доброї роботи фахівця є його ґрунтовні знання з природничих дисциплін. Найважливішим завданням підготовки фахівця є не знання, і не вміння, а практична діяльність. З іншого боку, оскільки практичній діяльності передують вміння, то необхідними умовами для формування вмінь служать знання і розуміння. Навчання сприяє розвитку творчих здібностей, або дає хоча б деяку уяву про творче ставлення до праці. При цьому до кожного учня повинен бути індивідуальний підхід, що створює певні труднощі. Важливо на самому початку навчання виявити, в якій галузі у того чи іншого учня можуть проявлятися творчі здібності. Це необхідно враховувати, щоб не перевантажувати учнів, не викликати психологічного дискомфорту, що в кінцевому результаті все одно не дасть позитивного результату у навчанні.

Творчі здібності людини ґрунтуються на розвитку самостійного мислення. Це мислення може розвиватись як вміння узагальнювати інформацію, застосовувати теоретичні висновки для прогнозування перебігу процесів на практиці, виявляти протиріччя між теоретичними узагальненнями і процесами, які відбуваються у природі. З цієї точки зору, у природознавстві фізика і математика найбільш доречні для формування творчого мислення учнів. Це відбувається завдяки аналізу явищ і вирішенню задач, особливо із прикладним змістом. У плані діалектики на деяких прикладах можна продемонструвати протиріччя між теоретичними



уявленнями і експериментом, що приводить до нових наукових пошуків. Велику користь для розвитку мислення мають практикуми, семінари, олімпіади.

Нерідко відкриваються школи для обдарованих дітей. З одного боку це добре, учні йдуть по складнішій програмі і швидше розвивають свої здібності. Однак, якщо забирають із звичайної школи обдарованих дітей, то в цій школі страждає весь навчальний процес, оскільки обдарований учень може приділити своїм однокласникам більше часу, ніж вчитель (взаємодопомога між учнями налагоджується простіше і щільніше). Добре відомо, що й сам навчаючий вчиться. Щоб пояснити якесь явище, процес, теорему треба самому добре розібратись, і тоді при поясненні краще виявляється власна неповнота розуміння.

Поставимо собі запитання: якими шляхами можна досягти успішного засвоєння фізичних знань і розвинути в учнів творче мислення? По-перше, навчальний процес повинен викликати в учнів певні відчуття (емоційні, етичні, естетичні), і тоді швидше будуть здобуватися знання. По-друге, навчання повинно бути цікавим і викликати лише позитивні емоції. По-третє, викладач і учень повинні бути однодумцями.

Складні формули у підручнику чи посібнику з фізики можуть викликати небажання читати матеріал. Емоційність повинна бути рисою характеру особистості, однак й негативні емоції, наприклад, при вивченні матеріалу про скидання атомних бомб над Хіросімою і Нагасакі, викликають етичні переживання, проте і заохочують учнів до вивчення фізичних явищ, на яких ґрунтується дія цієї страшної зброї.

Викладач повинен працювати творчо, вносити у свідомість слухачів романтизм і ентузіазм творчості. Важливим аспектом успішного навчання є поєднання природничо-наукового і гуманітарного циклів дисциплін. Здавалось би, що оскільки природознавство і техніка у практичному житті людини відіграють велику роль, то перевагу слід надавати природничо-науковим дисциплінам, однак усі ми знаємо, який великий вплив на формування особистості в юнацькі роки має література і мистецтво.

Неприпустимими у процесі навчання є перевантаження, страх, приниження учня, адже тоді він може зневіритись у своїх силах і можливостях. Пояснювати матеріал потрібно так, щоб у аудиторії виникали думки, що це так просто і можна було б самим зробити таке відкриття — це додає бажання навчатися. Коли вивчається певний об'єкт і він стає зрозумілим з усіх боків, то необхідно спонукати учнів до співставлення його з іншими об'єктами, навіть самими віддаленими шляхами порівняння, аналізу і аналогії. З дидактичної точки зору використання аналогій дає можливість простіше переходити від старого до нового матеріалу.

Аналіз результатів експерименту або розв'язку задачі, перевірка розмірностей є прийомом, який полегшує абстрактні судження і який є важливим для розвитку фізичного мислення.

Використання ідеалізації при вивченні фізики дає можливість відкрити і усвідомити навіть те, що не під силу уявити. Іноді викладачі у процесі навчання використовують методи популяризації наукових знань для підвищення мотивації до навчання, проте лекції повинні мати лише елементи цих методів, а не набувати цілісного науково-популярного характеру. На нашу думку, науково-популярні лекції не можуть навчати, будь-яке знання добувається з певними зусиллями. Популяризація знань і навчання — це різні системи; вони мають різні цілі і можливості, тому й методики є дещо різними.

Центральною фігурою в процесі навчання є викладач. Його знання, професійний талант, доброта і повага до учнів, його поведінка і ставлення до інших людей — все це визначає успіх навчання і виховання молоді. Іноді вчитель досконало знає свій предмет, але не завжди вміє зробити матеріал цікавим. У цьому він сильно програє у досягненні мети навчання; у кожному матеріалі нового уроку необхідно знайти щось нове, красиве.

Відсутність техніки лекторської майстерності, якою повинен володіти будь-який педагог є його великим недоліком. Підготовка до заняття вимагає зосередженості і планування. Розглядаючи деталі фізики, необхідно пам'ятати про інтегративні зв'язки як з іншими дисциплінами, так і з матеріалом інших розділів. Узагальнення сприяють науковому зростанню учнів. Чим з більшою довірою ми будемо ставитись до здібностей учнів, тим більшої віддачі від них отримаємо.

Викладання поєднує в собі науку і мистецтво, підпорядковується певним закономірностям і вимагає різних підходів для отримання ефективного результату.

«Викладання — це мистецтво, а у кожного доброго вчителя є свої прийоми і Чим з більшою довірою ми будемо ставитись до здібностей учнів, тим більшої віддачі від них отримаємо. Цим кожен добрий вчитель відрізняється від будь-якого іншого доброго вчителя» (Д. Пойа).

Система підготовки фахівців пов'язана із соціальними, економічними факторами та способом цілеспрямованого керування нею для досягнення поставленої мети. Цілі можна сформулювати точніше, якщо відштовхуватись від конкретних педагогічних ситуацій, від необхідного рівня підготовки фахівця, і після цього треба підбирати оптимальні шляхи і методи отримання прогностичної інформації.

У фахових дисциплінах доцільно використовувати проблемні ситуації шляхом аналізу, синтезу, узагальнення, використання фізичних методів, що сприятиме розумінню виробничих процесів і вихованню цілеспрямованості і прагнення до самоосвіти [3, с. 116].

Фізичні знання у фахових дисциплінах дають можливість моделювати ситуацію, використовувати ідеалізацію та абстрагування, а при спогляданні роботи технічних засобів — зрозуміти їх сутність та оволодіти методами роботи з технікою.

Фізичні теорії представляються як узагальнення спостережень, практичного досвіду й експерименту. Фізика формує навички експериментальної роботи, ознайомлює з методами обробки і аналізу результатів експерименту, вчить оцінювати порядок фізичних величин і користуватися основними фізичними приладами, дає уявлення про межі застосування фізичних моделей і гіпотез, дає можливість ефективно застосовувати загальні закони фізики для розв'язування задач не лише в області фізики, але і в міждисциплінарних зв'язках фізики та інших галузей знань. Фізика — це одна із галузей інтелектуальної діяльності людини, що формує сучасне світосприйняття і світорозуміння. Досягнення фізики значною мірою визначають зміст сучасної науково-технічної і технологічної революції, слугують основою сучасного науково-технічного прогресу.

Постійне оновлення технічних засобів праці та технологій виробництва вимагає творчого ставлення викладачів до підготовки майбутніх кваліфікованих робітників. Необхідно вміти виявляти психологічні умови розвитку професійного мислення та підбирати відповідні методи навчання. Відомо, що при розв'язанні задач з фізики можна найбільш точно визначити рівень мислення учнів.

Доцільно давати учням якісні задачі для кращого розуміння фізичних процесів і явищ. Наприклад:

- Чим пояснити, що тривалість варіння картоплі, починаючи від моменту закипання, не залежить від потужності нагрівача?
- Чи необхідно виконувати роботу для зміни швидкості руху тіл в умовах невагомості, якщо не існує ні тертя, ні опору середовища?
- Чому при виникненні пожежі в електричних установках необхідно їх відразу відімкнути?
- Чому вогонь, спричинений струмом, не можна гасити водою або звичайним вогнегасником, а треба використовувати пісок?

Головною особливістю якісної задачі є те, що у ній увага учнів акцентується на якісній стороні фізичних явищ, властивостей тіл, речовин, процесів.

Необхідно розрізняти якісну задачу від питання з перевірки формальних знань (наприклад, що називається ампером, як формулюється закон Ома). Мета останніх — закріпити формальні знання учнів. Відповіді на такі запитання в готовому вигляді є у підручнику, а учень повинен лише згадати їх. У якісній задачі ставиться запитання, відповідь на яке учень повинен скласти сам, синтезуючи дані умови задачі і свої знання з фізики.

Розв'язуються якісні задачі шляхом логічних міркувань, що ґрунтуються на законах фізики, графічно і експериментально. Математичні дії над фізичними формулами не виконуються, проте посилання на них можливі.

Деякі розділи фізики не містять формул, тому вирішення якісних задач є єдино можливим видом вправ з фізики. При вирішенні задач аналіз і синтез поєднані між собою. Отже, можна говорити лише про єдиний аналітико-синтетичний метод вирішення фізичних задач.



Наприклад, чи однаковими будуть виштовхувальні сили, які діють на один і той самий дерев'яний брусок, що плаває спочатку у воді, а потім у гасі?

Так, однакова, тому що виштовхувальна сила, яка діє на занурене у рідину тіло, дорівнює вазі витісненої ним рідини. Тіло плаває, якщо вага тіла рівна вазі витісненої ним рідини. Оскільки в обох рідинах плаває один і той самий брусок, то виштовхувальна сила в обох випадках однакова. Останній висновок (відповідь на запитання задачі) можна було зробити, синтезуючи відомий закон про величину виштовхувальної сили і умови плавання тіл та дані умови задачі (тіло плаває в обох випадках).

На цьому прикладі можна рекомендувати наступну схему вирішення простої якісної задачі такими етапами:

1. Знайомство з умовою задачі (текст, рисунок, прилад тощо).
2. Усвідомлення умови задачі (аналіз даних, введення додаткових умов, усвідомлення суті питання задачі).
3. Складання плану вирішення задачі (вибір і формулювання фізичного закону, що відповідає умові задачі, встановлення причинно-наслідкового зв'язку між логічними посиланнями задачі).
4. Здійснення плану вирішення задачі (синтез даних умови задачі із формулюванням закону, отримання відповіді на питання задачі).
5. Перевірка відповіді.

Вирішення складної якісної задачі теж здійснюється цими п'ятьма етапами, але при аналізі умови задачі необхідно звернути увагу на головне її запитання, на кінцеву ціль розв'язування. При складанні плану розв'язування задачі будується аналітичний ланцюжок міркувань, які починаються із запитання до задачі і закінчуються даними її умови. На четвертому етапі складають ланцюжок міркувань, починаючи з формулювання відповідних законів і закінчуючи відповіддю на запитання задачі. Відповідь можна перевірити, зіставивши її із загальними принципами фізики (законами збереження енергії, маси, заряду тощо).

Для вирішення якісних задач використовують евристичний, графічний і експериментальний методи. Вони можуть також поєднуватись, доповнюючи один одного.

Евристичний метод полягає у вирішенні декількох взаємопов'язаних цілеспрямованих якісних запитань. Кожен із них має своє значення та вирішення і одночасно є елементом розв'язання всієї задачі.

Графічний метод полягає у складанні відповіді на запитання задачі на основі аналізу графіка функції, креслення, схеми, рисунка, фото тощо.

Експериментальний метод полягає в отриманні відповіді на запитання якісної задачі на основі експерименту, поставленого і проведеного у відповідності до умови задачі. За умови якісно поставленого експерименту відповідь отримують швидко, наочно і вірогідно. Оскільки сам експеримент не пояснює, чому саме так, а не інакше відбувається явище, то його супроводжують вербальним поясненням.

Учні не завжди володіють навичками логічного мислення, в такому випадку використовують метод інтуїтивного мислення. Цей шлях вирішення задачі можливий: необхідно розглянути будь-яке міркування, будь-яку фізичну ідею рішення задачі, довести її до можливого сприйняття. Тоді, вочевидь, виникає дискусія, яка сприятиме розвитку фізичного і логічного мислення учнів.

Розв'язування кількісних задач дає можливість виявити вміння аналізувати зміст задачі, виділяти основне, вміти користуватись математичним апаратом, знати розмірності величин. Критерієм вміння аналізувати зміст задачі є чітке усвідомлення відомих параметрів та результату, аналіз процесів та явищ, вміння розробляти алгоритм розв'язування задачі.

Задачі, як найбільш ефективна форма розвитку професійного технічного мислення, ілюструють перебіг фізичних процесів, пояснюють фізичні явища з практичної точки зору, показують їх зв'язок з обраною спеціальністю, сприяють закріпленню теоретичного матеріалу, що дає можливість розвивати інтелектуальні якості учнів.

Формулювання задачі повинно бути лаконічним і наочним. Для експерименту учням запропонували розв'язати задачі різного рівня складності: задачі першого рівня (репродуктив-

ного), де усі дані відомі та були доступні усім учням, та задачі другого рівня, що вимагали використання таких мисленнєвих операцій, як аналіз, синтез, порівняння, узагальнення тощо.

Аналіз результатів розв'язування задач показав, що розвиток мисленнєвої діяльності низький, знання не систематизовані, а компоненти мислення в більшості учнів не розвинені.

Це спонукало нас розробити деякі методичні рекомендації, які сприяли б формуванню мислення. Ця методика включає комплекс задач по кожній темі, методичні вказівки до розв'язування задач. Підходи різні для різної складності матеріалу та його значущості із врахуванням спеціальності.

Реалізація головної мети при підготовці кваліфікованих робітників залежить від взаємодії психологічних і дидактичних аспектів і сприяє формуванню особистості, розвитку її інтелекту та технічного мислення. Використання загальних прийомів розумової діяльності, а також глибокі знання з фізики за умови реалізації дидактичних принципів у навчанні дасть результат при формуванні технічного мислення. У свою чергу, неперервність у навчанні важлива тому, що вміння і навички повинні постійно закріплюватись. Відношення людини до праці, навчання, загалом до будь-якої діяльності — це її світогляд, який залежить від активної розумової діяльності її у процесі навчання.

Досягнення поставленої мети у навчальному процесі вимагає тісного контакту учня і викладача. Методи навчання повинні не лише давати можливість учневі засвоювати надану йому інформацію, але й активно займатись самоосвітою, самоформуванням, прагнути оволодіти певними методами і використовувати їх у навчальному процесі.

Викладач спрямовує учнів на шлях пошуку, вводить в атмосферу творчості, що розкриває можливості для самостійного пошуку нових знань. Без педагогічного таланту і великої професійної компетентності цього досягти неможливо.

Удосконалення освітньої системи згідно з логікою науково-технічного і соціального прогресу, із скороченням і навіть зникненням деяких традиційних професій, виникненням нових спеціальностей, із складними соціальними і демографічними процесами, переглядом традиційних підходів до вибору цілей і принципів організації навчально-виховного процесу може вирішити питання змісту і характеру підготовки висококваліфікованих робітників. Існуючі підходи до формування знань, діяльності, і навіть особистісно орієнтовані підходи, не відповідають певною мірою ні соціальним вимогам, ні потребам самих учнів. Майбутні фахівці — це учні, які тільки ще вступають в соціальне життя, складнощі якого необхідно оцінити, осмислити і засвоїти, що вимагає сильної волі, розуму і енергії. Вплив «ринкового» оточення дещо дезорієнтує молодь в пошуку його істини, вимагає щоденного поповнення знань не лише для розуму, але й для душі. Тому важливий комплексний підхід до вирішення цього питання. Відповідний рівень знань дає можливість бути високим професіоналом і реалізуватись як особистість.

Освіта повинна орієнтуватись на перспективу, що означає постійне коректування змісту навчальних дисциплін із врахуванням перспективних суспільних потреб, тобто проведення постійних маркетингових досліджень і впровадження їх результатів у навчальний процес (дидактичне прогнозування) [4, с. 71]. Отже, педагогічна наука виконує не лише пояснювальну, але й прогностичну функцію. Пропонування можливих шляхів, альтернатив реалізації виявлених тенденцій, тобто виявлення напрямів практичних рішень, складає суть передбачення в теорії і практиці виховання.

Виховна робота та педагогічний процес — це невід'ємні складові підготовки кваліфікованих фахівців. Головною метою навчально-виховного процесу повинно бути формування свідомого громадянина, людини з активною життєвою позицією. Ця мета буде допомагати спеціалістові у житті і в практичній діяльності. Основним принципом підготовки фахівців повинно стати «виховання через навчання», що є більш ефективним методом, ніж спеціальні виховні заходи, які відокремлені від педагогічного процесу. Необхідно позбутись підходу відокремлення виховання від загальних педагогічних заходів, обмеження його ролі як допоміжного відносно навчання.

Внутрішній світ людини формується в процесі перетворення знань в переконання. Цінності і ідеали стають досягненням людини, коли проходять через її чуттєво-емоційну сферу, стають мотивами і спонукають до дій.

Прогнозування може мати цілісний або частковий характер. Наприклад, прогнозування окремих характеристик представників певної суспільної групи (модель фахівця певного профілю). В такій моделі представлені особистісні якості, проте увага акцентується на виробничих знаннях, вміннях людини. Таке прогнозування має ймовірнісний характер, тобто моделюються характерні усереднені показники груп особистостей, а не індивідуальний образ окремого фахівця.

Особистісно-індивідуальне прогнозування розкриває перспективу розвитку конкретної особистості, можливі варіанти її життєвого шляху, професійної діяльності, службового росту. Таке прогнозування має як зовнішній, так і внутрішній аспект. Зовнішній аспект — це прогнозування об'єкту (психологічний, педагогічний, медичний тощо). Внутрішній аспект — це самопередбачення особистості, коли сама людина прогнозує своє майбутнє. Внутрішнє і зовнішнє передбачення пов'язані. Кожна людина, прогножуючи своє майбутнє, свій життєвий шлях, повинна враховувати зовнішні прогнози. Це дасть можливість визначити, на що людина здатна, в якій діяльності її зусилля будуть найбільш ефективними, якого виду заняття неперспективні, або взагалі недопустимі [21, с. 18]. Особисте прогнозування має велике значення в процесі прийняття рішень.

Вирішуючи прогностичні проблеми змісту навчання важливо орієнтуватись й на прогнозування розвитку основних моральних і духовних якостей людини. Розвиваючи духовні якості людини, можна зменшити її прагнення до матеріальних цінностей, а спрямувати їх на благородні цілі. Людські якості можуть повністю розкритись в різних видах праці лише за сприятливих соціальних і природних умов. Вдосконалення відносин в системі «природа — суспільство — людина» можливе за умови, якщо ці відносини будуть не стихійними, а керованими і прогнозованими.

Призначення людини полягає у її поєднанні з оточенням, при якому людина певною мірою обмежує себе, самостійно і вільно обираючи свою справу. Вона, залежно від стану духу і характеру, обирає свою долю і відповідає за цей вибір. Проте суть особистості, її світогляд, погляди, потреби, інтереси, ціннісні орієнтації, її долю визначають суспільні відносини.

Проблема самообмеження потреб виникає внаслідок порушення співвідношення потреб за рахунок зростання матеріальних і обмеження духовних та соціальних проблем.

Люди можуть мати різний статус, проте усі вони є «продуктом» системи освіти. Від ефективності навчання, виховання і розвитку людини, від її інтелектуальних, духовних і моральних якостей залежить майбутнє держави. Тому такого великого значення набуває своєрідне «зіткненням» зовнішніх факторів відносно освіти, тенденцій розвитку середовища, і факторів внутрішніх — освітніх, педагогічних. Саме тому надзвичайно важливим є систематичний аналіз прогностичного фону перспектив формування особистості. Активізація життєвих позицій означає прагнення особистості поглянути на реальність з позицій майбутнього. Цінування часу просуває людину по ієрархії буття, в якій найбільшою цінністю є світ людини, а не світ матеріальний. Активна позиція переплітається з усвідомленням змісту життя, а наповнення часу залежить від особистості, від того, які цінності займають в її світогляді вищі ступені на життєвому шляху. Життєвий шлях визначається зміною статусу протягом життя, рівня розвитку, видів і характеру діяльності, способів спілкування особистості під впливом змін соціального середовища, способу життя, її потреб, інтересів і життєвого спрямування [11, с. 132].

Ускладнення виробничих процесів породжує нові професії, отже, й вимагає оволодіння більш складними і перспективними видами діяльності. В цьому аспекті освіта не зводиться лише до отримання спеціальної кваліфікації, а вимагає оволодіння методикою самостійного набуття знань. Вибір професії відіграє важливу роль при визначенні соціального статусу молоді людини і є важливим кроком у її самовизначенні. Цей крок відіграє вирішальну роль при усуненні протиріччя між особистими планами людини, яка захоплюється іноді популярними

професіями, та не бере до уваги потреби суспільства на даному етапі його розвитку. Сучасна структура народного господарства вимагає більше робітників, ніж фахівців із середньою освітою, а останніх більше, ніж фахівців із вищою освітою. Важливо узгодити інтереси особистості і суспільства, сприяти реалізації здібностей і нахилів молодих людей в їх інтересах, і в інтересах суспільства. Є. О. Клімов відзначає: «... Ефективність діяльності у масових виробничих професіях буде вищою, якщо зміняться погляди на людину і ставлення до неї не як до типової «живої машини», а як до суб'єкта, який створює індивідуально своєрідну систему способів своєї діяльності» [10, с. 3].

Ідеальною ситуацією в організації виховної роботи є відсутність певної межі між вихованцем і вихователем (викладачем); вони повинні стати партнерами у підборі методів, форм, принципів та мети виховання. Викладач поєднує у своїй діяльності і навчальний, і виховний процеси. Він, як носій моральних якостей, поважаючи їх думку та позицію, здатний впливати на їх вчинки, формувати риси характеру. А маючи ґрунтовні знання зі своєї дисципліни, подаючи її професійно спрямовано, викликаючи зацікавленість студентів, надає якісну професійну підготовку.

Отже, педагогічний процес на початку підготовки фахівця визначає мету, зміст, методи і засоби навчання (згідно суспільних потреб), з метою отримання сформованого фахівця з конкретними особливостями (свідомістю, поведінкою, професійними інтересами і потребами, мотивами діяльності тощо), а постійні прогностичні дослідження дадуть можливість періодично визначати існуючі на кожному етапі навчання зв'язки і співвідношення, що характеризують логіку розвитку вимог суспільства до особистості, виявляти нові закономірності в їх виникненні, розвитку і вдосконаленні.

1. Атанов Г. Обґрунтування і сутність діяльнісного підходу до навчання // Педагогіка і психологія професійної освіти. — 2002. — № 3. — С. 87—95.
2. Батышев С. Я. Прогностическая ориентация профессионального образования // Педагогика. — 1988. — № 6. — С. 22—27.
3. Безрукова В. С. Педагогика. Проективная педагогика. — Екатеринбург: Деловая книга, 1996. — 341 с.
4. Гершунский Б. С. Образовательно-педагогическая прогностика. Теория, методология, практика: Учебное пособие. — М.: Флинта: Наука, 2003. — 768 с.
5. Гендин А. М. Особенности социального предвидения. — В сб.: Развитие, предвидение, планирование. Пермь, 1984. — С. 46—51
6. Гуревич Р. С. Теоретичні та методичні основи організації навчання у професійно-технічних закладах: Монографія / За ред. С. У. Гончаренка. — К.: Вища шк., 1998. — 229 с.
7. Державна національна програма «Освіта» (Україна XXI ст). — К.: Райдуга, 1994. — 62 с.
8. Дистервег А. Хрестоматия по истории педагогики // Сос. Г. П. Весберг, Н. А. Желваков, С. А. Фримов. — Ч. 1. — Т. 2. — М., 1940. — 490 с.
9. Кікоїн І. К., Кікоїн А. К. Фізика: підручник для 9 кл. середньої школи (переклад з російської), 2-ге вид. — К.: Освіта, 1993. — 206 с.
10. Климов Е. А. Становление профессионалов путем приближения к идеалам культуры // Вестник Московского университета. Серия: Психология. — 2005. — № 2. — С. 76—79
11. Кон И. С. В поисках себя. М.: Политиздат, 1984. — С. 278
12. Концепція розвитку професійно-технічної (професійної) освіти в Україні // Професійно-технічна освіта. — 2004. — № 3. — С. 2—5.
13. Ломако Л. І. Проблемно-пошукові методи навчання як інтегруючий фактор // Інтеграція елементів змісту освіти: Матеріали Всеукр. конф. — Полтава, 1994. — С. 41—42.
14. Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М., 1984. — С. 276
15. Лернер И. Я. Проблемное обучение. — М., 1974.
16. Максвелл Д. К. Статьи и речи. — М.: Наука, 1968. — С. 194.
17. Мотрич К. Ніч після сходу Сонця. Роман. К.: Криниця, 2001. — 701 с.
18. Наумова Н. Ф. Психологические механизмы свободного выбора. — В кн.: Системные исследования. Методологические проблемы. М., 1983. — С. 68—73
19. Ничкало Н. Г. Професійна освіта нової доби: Післямова // Педагогічні технології у неперервній професійній освіті: Монографія / За ред. С. О. Сисоєвої; АПН України. Ін-т педагогіки і психології проф. освіти. — К.: ВІПОЛ, 2001. — С. 476—484.
20. Основы дидактики / Под ред. Б. П. Есипова. — М., 1967.
21. Прогнозирование работоспособности человека в условиях высокогорья (методические рекомендации) М., 1989. — С. 96
22. Прокопович Феофан Філософські твори (переклад з латинської). — К.: Наукова думка, 1981. — Т. 3. — 522 с.
23. Суханов Б. М. Интеграция естественно-научного и технологического знаний. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. — 96 с.
24. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. — М.: Изд-во «Мир», 1967. — Т. 1. — 260 с.

## Розділ II.

# ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРЕДМЕТУ «ФІЗИКА»

## МЕХАНІКА

### Теоретичні положення, основні формули

**У** механічному русі приймають участь завжди два і більше тіл. Одне з них приймають за нерухоме тіло відліку, і відносно нього визначається механічний стан усіх інших тіл. З тілом відліку поєднують систему відліку, переважно прямокутну. Найпростіший вид закони руху матимуть у системі відліку, пов'язаній з поверхнею Землі.

Рух кожної точки тіла характеризується траєкторією, довжиною шляху, переміщенням, швидкістю, прискоренням.

Звернемо увагу учнів на відмінність між довжиною шляху і переміщенням: перше — величина скалярна, визначається довжиною траєкторії, друге — величина векторна, сполучає початкове і кінцеве положення рухомого тіла.

На прикладах необхідно показати, як визначаємо середню швидкість і миттєву.

Так, наприклад, шлях від Києва до Львова приблизно 550 км, а переміщення по прямій — значно менше.

**Середня швидкість (1)** — векторна величина, напрям її завжди співпадає з напрямом вектора переміщення. Для визначення **миттєвої швидкості** необхідно розглянути переміщення точки за безмежно малий проміжок часу і знайти границю відношення (1a) за умови, що  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$v_{cp} = \frac{S}{t}, \quad (1)$$

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}. \quad (1a)$$

Напрямок вектора миттєвої швидкості співпадає з напрямом дотичної до траєкторії.

**Питання:**

- а) яку швидкість змінного руху показує спідометр автомобіля? (близьку до миттєвої);
- б) на вулицях міст і трасах вивішують знаки, які забороняють рух зі швидкістю, що перевищує величину швидкості, вказану на знаку. Про яку швидкість йде мова? (про миттєву).

**Середнє прискорення** знайдемо за формулою (2), а миттєве — як границю зміни середнього прискорення за умови, що  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$a_{сep} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \quad (2)$$

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (2a)$$

Напрямок вектора прискорення співпадає з напрямом вектора зміни швидкості.

При криволінійному русі точки вектор її прискорення спрямований під деяким кутом до дотичної у цій точці. Якщо вектор прискорення розкласти у напрямі дотичної і нормалі в даній точці, то складові називаються відповідно дотичним (тангенціальним) і нормальним прискоренням.

*Дотичне прискорення завжди співпадає з напрямом швидкості і характеризує її зміну за величиною, а нормальне — направлене перпендикулярно до швидкості і характеризує її зміну за напрямом.*

Для прямолінійного руху маємо:

$$a_n = 0, \quad a = a_0 = \text{const}, \quad (3)$$

$$v = v_0 + at, \quad (4)$$

$$S = v_{cp} t = \frac{v + v_0}{2} t, \quad (5)$$

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (6)$$

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}. \quad (7)$$

Ці рівняння виражають закони зміни швидкості, прискорення і переміщення з бігом часу.

Розглянутий вид руху включає рівномірний і рівнозмінний рух: при **рівномірному** —  $v = v_0 = \text{const}$ , а при **рівнозмінному** —  $v > v_0$ ,  $a > 0$  (рівноприскорений) і  $a < 0$  (рівносповільнений).

*До рівнозмінного належить й рух тіл під дією сили тяжіння. Оскільки сила тяжіння надає усім тілам, які знаходяться на однаковій відстані від центру Землі, однакового прискорення ( $g$ ), то закони цього руху у прийнятих позначеннях отримаємо заміною  $S$  на  $H$  і  $a$  на  $g$  у формулах (3—7).*

При рівномірному русі точки по колу напрям вектора швидкості за будь-які рівні проміжки часу змінюється на однаковий кут ( $\phi$ ). Нормальне прискорення стає. Якщо матеріальна точка рухається по колу з радіусом  $R$  і лінійною швидкістю  $v$ , виконуючи при цьому за час  $t$   $n$  обертів, то

$$v = \frac{S}{t} = \frac{2\pi R n}{t} = 2\pi R f = \frac{2\pi R}{T}, \quad (8)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = 4\pi^2 f^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}, \quad (9)$$

де 
$$f = \frac{n}{t}, \quad T = \frac{t}{n} = \frac{1}{f}, \quad (10)$$

$f$  — число обертів за одиницю часу (**частота обертання**), а  $T$  — тривалість одного оберту (**період обертання**).

Кінематичними характеристиками обертального руху тіла є **кутове переміщення** (центральный кут, який відповідає дузі, пройдений рухомою точкою), **кутова швидкість** і **кутове прискорення**:

$$\omega_{сеп} = \frac{\phi}{t} = \frac{2\pi n}{t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}, \quad (11)$$

$$\epsilon_{сеп} = \frac{\omega - \omega_0}{t}, \quad (12)$$

$$\omega = \omega_0 + \epsilon t, \quad \phi = \frac{\omega + \omega_0}{2} t, \quad \phi = \omega_0 t + \frac{\epsilon t^2}{2}, \quad \phi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\epsilon}. \quad (13)$$

Для тіл, які обертаються зі сталим кутовим прискоренням, можна записати рівняння руху по аналогії з прямолінійним рухом.

Якщо рух рівномірний, то  $\omega = \text{const}$ ,  $\epsilon = 0$ , рівноприскорений —  $\omega > \omega_0$ ,  $\epsilon > 0$ , рівносповільнений —  $\omega < \omega_0$ ,  $\epsilon < 0$ .

З рівнянь (8) і (11) маємо:

$$v = \omega R, \quad (14)$$

звідки 
$$a_0 = \epsilon R, \quad a_n = \omega^2 R. \quad (15)$$



**Питання:** чи всі точки кола колеса, що котиться, мають однакові швидкості відносно землі? (ні, точка колеса, що стикається з землею, має швидкість рівну нулеві; найбільшу швидкість має найвища точка колеса).

Закони руху тіл із врахуванням причин, які зумовили цей рух, вивчає динаміка: рух матеріальної точки (тіло, розмірами якого в даних умовах можна знехтувати) і рух твердого тіла.

Тіло змінює свій рух лише за умови взаємодії з іншим тілом. Мірою цієї взаємодії, внаслідок чого тіло деформується або набуває прискорення, є сила. **Сила** — векторна величина.

Якщо на матеріальну точку діє декілька сил, то їх дію можна замінити дією однієї, яка називається рівнодією.

За відсутності зовнішніх впливів на тіло воно зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху. Ця властивість тіл називається **інертністю**. Мірою інертності є **маса** тіла.

Так, вантажний автомобіль має більшу масу, тому більш інертний.

В основі динаміки лежать три закони:

а) Якщо рівнодія сил, прикладених до тіла, рівна нулеві, то тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху (**перший закон Ньютона**).

Саме законом інерції пояснюється той факт, що людина падає вперед при різкому гальмуванні автобуса і назад, коли автобус різко рушає, а також те, що неможливо вмиг зупинити автомобіль при виникненні перешкоди на дорозі.

Дія тіл на матеріальну точку відбувається незалежно одна від одної. Кожна сила надає точці такого прискорення, ніби інших тіл не існує (**принцип незалежності дії сил**). Якщо діє декілька сил, то результуюче прискорення точки дорівнює геометричній сумі окремих прискорень, які надає кожна сила.

Дія на дане тіло інших тіл — фізичне явище, а сила — це фізична величина, яка характеризує це явище. Так, при переміщенні в циліндрі теплової машини поршня, на нього діє сила тиску газу, утвореного при згоранні палива.

б) Результуюче прискорення тіла прямо пропорційне векторній сумі прикладених сил, обернено пропорційне масі тіла і за напрямом збігається із рівнодією сил (**другий закон Ньютона**).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (16)$$

Навантажений автомобіль на нерівній дорозі рухається більш плавно, ніж автомобіль без вантажу. За II законом Ньютона, збільшення маси автомобіля веде до зменшення прискорення.

Добуток маси тіла на його швидкість є величиною векторною і називається **імпульсом тіла**:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (17)$$

Зміна імпульсу тіла за одиницю часу дорівнює силі, діючій на нього і збігається з напрямом цієї сили:

$$\frac{\vec{K}_2 - \vec{K}_1}{t} = \vec{F}. \quad (18)$$

в) Усі сили виникають і зникають лише парами. Тіла діють одне на одного із силами рівними за величиною, але протилежними за напрямом (**третій закон Ньютона**). Ці сили не врівноважуються, оскільки прикладені до різних тіл.

Якщо геометрична сума зовнішніх сил дорівнює нулеві, то така система тіл називається замкненою, або ізольованою. У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів усіх тіл з бігом часу не змінюється (**закон збереження імпульсу**):

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'. \quad (19)$$

Якщо рівнодія сил, діючих на матеріальну точку, утворює з вектором швидкості гострий або тупий кут, то точка рухатиметься по колу (або по дузі кола).

Механічна взаємодія тіл зумовлена їх пружністю і властивістю притягатись одне до одного. Сили, зумовлені деформацією тіл, які перешкоджають зміні їх форми і об'єму, називаються **пружними**. Взаємодія тіла із опорою проявляється як **сила тиску** на цю опору і як **сила реакції цієї опори**. Складову сил тиску і реакції опори у напрямі перпендикулярному до неї називають

**силами нормального тиску**, а силу пружної взаємодії у напрямі дотичної називають **силою тертя**. Розрізняють силу тертя спокою, ковзання і кочення. Максимальна сила тертя спокою і сила тертя ковзання за невеликої швидкості визначаються за формулою

$$F_{\text{тр}} = kN, \quad (20)$$

де  $k$  — коефіцієнт тертя.

*За III законом Ньютона легко пояснити, чому автомобілю важко рушити на обмерзлій дорозі: мала сила тертя коліс об льодову дорогу і недостатня, щоб подолати дію усіх сил опору. Завдяки прояву сил тертя між колесами автомобіля і дорогою, автомобіль рухається. Там, де тертя шкідливе, ставлять підшипники.*

*Внаслідок тертя тіл електрони переходять з одного тіла на інше і тіла стають зарядженими. Це означає, що сили тертя і сили пружності мають електромагнітну природу.*

Дві матеріальні точки (однорідні шари) притягаються з силою прямо пропорційною їх масам і обернено пропорційною квадратів відстані між ними (**закон всесвітнього тяжіння**):

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}. \quad (21)$$

*Закон всесвітнього тяжіння і другий закон Ньютона — незалежні один від одного закони механіки.*

*Другий закон Ньютона справедливий для будь-яких сил, які діють на тіла, а закон всесвітнього тяжіння — лише для сил притягання.*

Будь-яке тіло падає прискорено у напрямі виска і одночасно приймає участь в добовому обертанні Землі, маючи доцентрове прискорення. Ці прискорення створюються складовими силами притягання в напрямі радіуса добового обертання тіла і напрямі виска.

Складову силу земного притягання по виску у даній точці Землі називають **силою тяжіння**, а прискорення, створене цією силою — прискоренням вільного падіння ( $g$ ).

Сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або розтягує нитку, на яку підвішене, називають **вагою** тіла  $P$ . Якщо тіло не зазнає дії сили реакції опори або підвісу, то такий стан називають **невагомістю**.

*Сила тяжіння  $F_m$  і вага тіла  $P$  — це різні сили, прикладені до різних тіл, у випадку, наприклад, невагомості — вони різняться.*

На супутник і на тіла, які у ньому перебувають (наприклад, космонавт) діє лише сила тяжіння. Супутник і космонавт перебувають у стані невагомості.

*При русі тіла по опуклому або ввігнутому мосту сила реакції моста не рівна силі тяжіння тіла, як це спостерігається при русі по горизонтальному мосту. Горизонтальні мости будувати не вигідно, тому що за впливу ваги транспорту горизонтальний міст стає ввігнутим.*

Кожній формі руху матерії відповідає певний вид енергії.

**Робота сили** означає роботу, яку виконує тіло (це тіло діє на систему з деякою силою). Виконуючи роботу, сили обов'язково змінюють координати точки їх прикладання. Роботу сталої сили на шляху знаходять за формулою

$$A = F s \cos \alpha. \quad (22)$$

Робота сили пружності визначається:

$$A = \frac{ks^2}{2}. \quad (23)$$

Робота сили тертя —

$$A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot s. \quad (24)$$

Робота сили тяжіння —

$$A_{\text{тяж}} = mgh. \quad (25)$$

Для оцінки величини роботи, яку може виконати будь-який механізм за одиницю часу, вводять поняття **потужності**. У цьому випадку під силою завжди розуміють силу тяги, спрямовану в напрямі переміщення тіла. Потужність, яку розвиває стала сила тяги розраховують за формулою:

$$N = \frac{A}{t};$$

$$N = Fv, \quad (26)$$

де  $v$  — швидкість тіла.

З формули (26) випливає, що для збільшення швидкості автомобіля, у якого потужність стала, необхідно зменшити силу, тобто перейти на вищу передачу.

Фізичний стан тіл визначається різними видами руху. Тому можна, вочевидь, знайти таку величину, яка за будь-яких змін в ізольованій системі тіл залишатиметься незмінною і може бути єдиною кількісною мірою руху. Ця величина називається **енергією**. Оскільки рух відбувається лише внаслідок взаємодії тіл і при цьому завжди виконується робота, то за величину енергії приймають роботу, яку може виконати тіло в цьому стані.

Частина повної енергії, яка відповідає механічній формі руху, називається **механічною енергією**. Розглядають два види механічної енергії: кінетичну і потенціальну.

При поступальному русі **кінетична енергія (енергія руху)** визначається:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (27)$$

Автомобіль, що їде з великою швидкістю, може проїхати досить значну відстань із вимкненим двигуном, оскільки більша швидкість відповідає більшій кінетичній енергії тіла, тому й більший гальмівний шлях.

**Потенціальна енергія** деформованого тіла вимірюється роботою, яку виконує пружна сила при поверненні тіла до вихідного стану і рівна

$$E_n = \frac{ks^2}{2}. \quad (28)$$

**Потенціальна енергія** при дії сили тяжіння рівна

$$E_n = mgh. \quad (29)$$

Переважно інтерес представляє не саме значення потенціальної енергії, а її зміна:

$$\Delta E_n = mg\Delta h. \quad (30)$$

Потенціальна енергія тіла на поверхні Землі приймається за нуль.

*Робота є мірою зміни енергії тіла. Якщо зовнішні сили виконують роботу і потенціальна енергія тіла не змінюється, то робота дорівнює зміні кінетичної енергії тіла, а якщо при виконанні роботи кінетична енергія не змінюється, то виконана робота рівна зміні потенціальної енергії тіла.*

**Повна механічна енергія** системи тіл дорівнює сумі кінетичних і потенціальних енергій усіх тіл цієї системи.

*У ізольованій системі тіл, при будь-яких переходах системи з одного стану в інший повна енергія залишається незмінною (закон збереження енергії).*

Якщо при переході системи з одного стану в інший крім сил земного притягання діють інші зовнішні сили, то зміна повної енергії дорівнює роботі цих сил:

$$E_2 - E_1 = A. \quad (31)$$

Розділ механіки, який вивчає умови рівноваги тіл, називають **статикою**. **Рівновага** — це стан спокою, або рівномірного прямолінійного чи рівномірного обертального руху.

Усі сили, діючі на матеріальну точку, необхідно розкласти по двох взаємно перпендикулярних осях  $Ox$  і  $Oy$  і прирівняти до нуля суми проекцій сил на ці осі:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0. \quad (32)$$

Це рівняння рівноваги матеріальної точки у проекціях.

Рівновага твердого тіла залежить не лише від величини і напрямку діючих сил, але й від точок їх прикладання. Механічний стан твердого тіла не зміниться, якщо точку прикладання діючої на нього сили переносити уздовж лінії дії цієї сили.

*Продукти легше різати не просто надавлюючи на ніж, а надавлюючи і рухаючи ніж вперед-назад. Це пояснюється тим, що при русі ножа його «ріжучим перерізом» є не переріз, перпендику-*

лярний ріжучий кромці, як у випадку, коли ми просто натискаємо на ніж, а переріз, що складає з лінією леза деякий кут (тим менший, чим більша швидкість руху ножа).

Рівнодійна двох або більше сил, діючих під кутом одна до одної, дорівнює векторній сумі цих сил і знаходять її за правилом паралелограма.

Рівнодійна двох паралельних сил дорівнює їх алгебраїчній сумі  $F = F_1 \pm F_2$ , а лінія дії рівнодійної знаходиться від лінії дії сили  $F_1$  ( $F_1 > F_2$ ) на відстані

$$x = \ell \frac{F_2}{F_1 \pm F_2} \quad (33).$$

Де  $\ell$  — відстань між лініями дії прикладених сил. Знак плюс ставиться, якщо сили направлені в один бік, а мінус — у протилежний.

Якщо тіло може обертатися навколо точки О, то умовою рівноваги буде рівність нулю результуючого моменту сил відносно точки О:

$$M = \sum M_i, \quad \vec{M} = F\vec{\ell} \quad (34),$$

де  $\ell$  — відстань від осі обертання до лінії дії сили по перпендикуляру називається **плечем сили**, а добуток сили на її плече — це **момент сили** ( $\vec{M}$ ).

Ознакою стійкої рівноваги системи є мінімум її потенціальної енергії.

Помічаємо, що після струшування неповного кошика з яблуками найбільші яблука опиняються зверху. Це пояснюється тим, що найбільш стійкому положенню рівноваги системи відповідає мінімум потенціальної енергії. Центр тяжіння кошика з яблуками буде займати найнижче положення, якщо яблука будуть найбільш щільними у нижній частині кошика. Тому яблука розміщуються саме так.

Рівновага лежить в основі будови колон, ламп, ваз, в яких площу опори роблять великою; чим більша площа опори, тим нижче положення центру мас, тим тіло більш стійке.

Рідини і гази тиснуть на дно і стінки посудини, в якій перебувають. Вони чинять тиск з усіх боків на занурене в них тіло.

Силова дія рідини або газу на стінки і дно посудини, характеризується **тиском**:

$$p = \frac{F}{S} \quad (35),$$

де  $F$  — сила, що діє перпендикулярно на площину поверхні  $S$ .

Одиницею тиску є **паскаль**, названий так на честь французького вченого Б. Паскаля, який встановив, що рідини і гази передають поверхневу дію (**поверхневий зовнішній тиск**) в усі точки свого об'єму без змін ( $[p] = \text{Н/м}^2 = \text{Па}$ ). Це твердження відоме як **закон Паскаля** для рідин і газів.

Закон Паскаля покладено в основу дії гідравлічних машин, тобто машин, у яких використовується рідина.

Гідравлічна машина дає вигоду у силі в стільки разів, у скільки площа її великого поршня більша від площі малого.

«Золоте» правило механіки говорить про те, що скільки виграємо в силі, стільки програємо у відстані, а виграшу в роботі гідравлічна машина не дає.

Так, столяри, виготовляючи двері, знають, що ручки треба ставити подалі від петель, адже чим більшим є плече сили, тим прикладена сила для відкривання дверей буде меншою.

А слюсарі з ремонту автомобіля знають, що відкрутити гайку легше довгим ключем, ніж коротким.

Тиск, який чинить рідина на поверхню тіл, розміщених у ній, називають **гідростатичним**.

**Сполученими** називають такі посудини, які можуть вільно обмінюватись рідиною (наприклад, чайник і його носик), або такі, де тиск в одній посудині без змін передається в другу.

Висоти стовпів неоднорідних рідин у сполучених посудинах обернено пропорційні їх густинам, а однорідна рідина в обох колінах посудини знаходиться на одному рівні. Це **закон сполучених посудин**.

Прикладами сполучених посудин в техніці є шлюзи на каналах і ріках, водонапірна башта і водопровідні лінії, водомірні скляні трубки на парових котлах тощо.

Прилади для вимірювання тиску рідин називаються **манометрами**, а прилад для вимірювання тиску атмосфери — **барометром**.

Тиск рідини залежить від густини і висоти її стовпа:

$$p_r = \rho gh, \quad (36)$$

де  $\rho$  — густина води;  $h$  — висота стовпа рідини. Його називають **гідростатичним**. Причиною виникнення цього тиску є сила тяжіння, яка примушує верхні шари рідини тиснути на нижні.

На кожне тіло, яке з усіх боків оточене рідиною або газом, через те, що їх тиск зростає до низу, діє напрямлена вгору **виштовхувальна сила**. Вона відкрита Архімедом і носить його ім'я. Для її обчислення використовується **формула Архімеда**:

$$F_A = \rho gV. \quad (37)$$

Тут  $\rho$  — густина рідини чи газу;  $V$  — об'єм рідини або газу, витіснений зануреним у нього тілом. Прийнято вважати точкою прикладання  $f_a$  центр мас витісненого об'єму.

Рух тіла з середньою густиною  $\rho_t$ , яке знаходиться у рідині з густиною  $\rho$  залежить від співвідношення між силою тяжіння  $\rho_t gV$  і силою Архімеда  $\rho gV$ . Якщо більша перша ( $\rho_t > \rho$ ), то тіло потоне, а якщо рідина має більшу густину ( $\rho > \rho_t$ ) — тіло рухатиметься вгору і плаватиме на поверхні.

У випадку повітроплавання легку оболонку заповнюють газом, густина якого  $\rho_a$  менша від густини повітря  $\rho$ . Як легкий газ використовують гелій, водень, нагріте повітря тощо. Створену таким чином кулю називають «повітряною» і обчислюють не силу Архімеда, а **підіймальну силу** — різницю між силою Архімеда з боку повітря і силою тяжіння для газу в оболонці:

$$F = (\rho - \rho_a) gV, \quad (38)$$

де  $V$  — об'єм повітряної кулі, зайнятий легким газом.

Атмосфера тисне на усі тіла. Цей тиск залежить від наявності водяної пари в атмосфері і висоти підняття. **Нормальний атмосферний тиск** становить 760 мм рт.ст. ( $1,01 \cdot 10^5$  Па). Оскільки концентрація молекул зменшується при віддаленні від поверхні Землі, то відповідно зменшується і атмосферний тиск.

Рух рідини, при якому через будь-який поперечний переріз трубки в кожний момент часу протікає однакова кількість рідини, називається **стаціонарним**. При такому русі буде:

$$m_1 = m_2; \rho v \Delta t S_1 = \rho v \Delta t S_2; \frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (39)$$

Найбільша швидкість рідини спостерігається у найвузчому місці труби, а найменша — у найширшому. Це означає, що в одних місцях рідина прискорюється, а в інших — гальмується. Причиною, очевидно, є сили, які діють на рідину. Це можливо тільки тоді, коли у різних перерізах труби різний статичний тиск  $p$  рідини. В місцях звуження статичний тиск менший, а в місцях розширення — більший.

Якщо відкрити водопровідний кран і затиснути його пальцем так, щоб залишився лише маленький отвір, то вода із отвору виринає з більшою швидкістю, ніж при повністю відкритому крані.

Величину  $\frac{\rho v^2}{2}$  називають **динамічним тиском**,  $p$  — **статичним**,  $\rho gh$  — **гідростатичним тиском**. Виходячи із закону збереження енергії сума тисків залишається сталою в усіх перерізах труби при стаціонарному плині рідини.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const} \quad (40).$$

Це рівняння Бернуллі (**рівняння динаміки рідин**).

**Основні формули**

$v = \frac{S}{t}$	$S$ — переміщення $v$ — швидкість рівномірного руху або миттєва швидкість рівнозмінного і лінійна швидкість криволінійного руху $t$ — час руху	м м/с с
$v = v_0 + at$ $a = \frac{v - v_0}{t}$	$v_0$ — початкова швидкість при змінному русі $a$ — прискорення при рівнозмінному русі	м/с м/с <sup>2</sup>
$v = gt$	$g$ — прискорення вільного падіння	м/с <sup>2</sup>
$v = 2\pi Rf$	$R$ — радіус обертання $f$ — частота обертання	м Гц (с <sup>-1</sup> )
$\omega = 2\pi f$	$\omega$ — кутова швидкість обертального руху	с <sup>-1</sup>
$a_\theta = \frac{v^2}{R}$	$a_\theta$ — доцентрове (нормальне) прискорення	м/с <sup>2</sup>
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	$s$ — переміщення при рівнозмінному русі	м
$H = \frac{gt^2}{2}$ $H = \frac{v^2}{2g}$	$H$ — переміщення при вільному падінні тіл	м
$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho$ — густина $m$ — маса $V$ — об'єм	кг/м <sup>3</sup> кг м <sup>3</sup>
$a = \frac{\Sigma F}{m}$	Другий закон Ньютона $\Sigma F$ — рівнодійна сил, діючих на тіло	Н
$F_1 = -F_2$	Третій закон Ньютона	
$F_\tau = mg$	$F_\tau$ — сила тяжіння	Н
$F_{np} = kx$	$F_{np}$ — сила пружності $k$ — жорсткість	Н Н/м
$F_{mp} = kN$	$F_{mp}$ — сила тертя $k$ — коефіцієнт тертя $N$ — сила нормального тиску	Н Н
$p = mv$	$p$ — імпульс	кг · м/с
$E_\kappa = \frac{mv^2}{2}$	$E_\kappa$ — кінетична енергія	Дж
$E_n = mgh$	$E_n$ — потенціальна енергія	Дж
$A = E_1 - E_2$ $A = F s \cos \alpha$	$A$ — робота $E_1 - E_2$ — зміна енергії $\alpha$ — кут між напрямом сили і переміщенням	Дж Дж град.

$N = \frac{A}{t}$ $N_{\text{сеп}} = Fv_{\text{ср}}$	$N$ — потужність $N_{\text{сеп}}$ — середня потужність	Вт
$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$	$F$ — сила притягання тіл $m_1, m_2$ — маси тіл $\gamma$ — гравітаційна стала $R$ — відстань між тілами	Н кг $\text{Нм}^2/\text{кг}^2$ м
$p = \frac{F}{S}$	$p$ — тиск $F$ — сила тиску $S$ — площа	Па Н $\text{м}^2$
$F_A = \rho g V$	$F_A$ — сила Архімеда $\rho$ — густина рідини або газу $g$ — прискорення вільного падіння $V$ — об'єм витісненої рідини або газу	Н $\text{кг}/\text{м}^3$ $\text{м}/\text{с}^2$ $\text{м}^3$
$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$	умова неперервності струменя $v$ — швидкість плинину рідини або газу $S$ — площа поперечного перерізу труби	$\text{м}/\text{с}$ $\text{м}^2$
$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$	рівняння Бернуллі $p$ — статичний тиск $\frac{\rho v^2}{2}$ — динамічний тиск $\rho gh$ — гідростатичний тиск	Па Па Па

### Якісні задачі

1. Якщо змішати два рівних об'єми ртуті і води, спирту і води, то у першому випадку отримаємо подвоєний об'єм суміші, а в другому — менше від подвоєного об'єму. Чому?
2. Дитячі повітряні кульки зазвичай наповнюють світільним газом. Чому вони вже через добу втрачають пружність, зморщуються і перестають підніматись?
3. Для чого при складанні полірованих листів скла між ними кладуть паперові прокладки?
4. Чи може бути кухонна сіль рідкою, а вуглекислий газ твердим?
5. Чому при згинанні прутки паяльного олова чується характерний тріск?
6. Людина, сидячи на каруселі, що обертається, бачить, що відносно неї вона нерухома, а навколишні предмети і земля рухаються. Що у даному випадку є тілом відліку?
7. Човняр, стоячи однією ногою на пристані, другу ставить на човен і відштовхується від пристані. У якому випадку йому зручніше сісти у човен: коли він порожній, чи коли у човні сидять люди?
8. У дві однакові склянки налито води до однакової висоти. В одну склянку опустили однорідний кусок сталі масою 100 г, а в другу — срібла такої самої маси. Чи однаково підніметься вода в обох склянках?
9. Чому краплі від дощу при різкому струшуванні злітають з одягу?
10. Наїзник швидко скаче на коні. Що буде з ним, якщо кінь спіткнеться?
11. Маса другого тіла удвічі більша від маси першого. Порівняйте сили тяжіння, діючі на ці тіла.
12. На чутливих пружинних терезах зважили тіло А біля підніжжя гори, а тіло В на таких самих терезах — на вершині тієї самої гори. Покази терезів виявились однаковими. Порівняйте маси тіл.
13. Як нахилені один відносно другого виски на полюсах Землі, на полюсі і на екваторі?
14. Чи повторює вільна поверхня океану кулясту форму Землі?
15. До штативу на нитці підвішений вантаж. Як повинен рухатись штатив, щоб нитка не зазнавала ніякого натягу?



16. Чи зміниться густина повітря в кабіні космічного корабля у стані невагомості?
17. Хлопчик, піднявшись на сходи, випустив з рук посуд з водою. Чому дорівнює тиск води на дно під час падіння?
18. Які сили врівноважуються при рівномірному русі автомобіля по горизонтальній ділянці дороги?
19. Для чого розводять пили, тобто сусідні зубці нахиляють у протилежні боки?
20. Автомашина з причепом повинна перевезти (тяжкий вантаж). Куди його необхідно помістити: в кузов автомашини чи на причеп? Чому?
21. Ножівкове полотно зігнули в дугу. Які сили виникли на зовнішній і внутрішній поверхнях полотна?
22. Чи буде псуватись зерно, якщо його зсипати на сухий гладкий тік під накриттям?
23. Покладіть у воду уламок крейди. З нього в усіх напрямках почнуть виходити бульбашки. Поясніть це явище.
24. На зораній прикордонній смузі виявили сліди чобіт порушника кордону. Чи можна по цьому сліду визначити, чи одна людина пройшла, чи вона несла ще на собі іншу людину або якийсь важкий вантаж?
25. Якщо металевий порожній циліндр стискати долонями уздовж його осі, то рука, яка натискає на край циліндра, відчуває біль, а інша — ні. Чому?
26. Чому буря, яка валить живі дерева влітку, часто не може повалити поряд сухе дерево без листя, якщо воно не підгнило?
27. До людини, під якою провалився лід, підходити не можна. Для рятування їй кидають драбину або довгу дошку. Поясніть, чому таким способом можна врятувати людину?
28. Чому сухе дерево при горінні тріщить?
29. За якої умови нагрівання газу не зумовить зміни його густини?
30. Поверхня води у ріці плоска. Чи вона є горизонтальною?
31. Яку форму повинна мати посудина, щоб за допомогою певної кількості рідини отримати більшу силу тиску на дно?
32. У чому відмінність між зміною густини повітря залежно від висоти і густини води на різній глибині моря?
33. Уламок мармуру важить стільки, скільки важить гиря з міді. Яке з цих тіл легше втримати у воді?
34. Плавець, лежачи на воді на спині, глибоко вдихає і видихає. Як зміниться при цьому положення тіла плавця відносно поверхні води? Чому?
35. Чи однакова виштовхувальна сила діє на один і той самий дерев'яний брусок, який плаває спочатку у воді, а потім у гасі?
36. У колінах U-подібної трубки ртуть і вода зрівноважують одне одного. Чи зміниться рівень дотику води з ртуттю, якщо в обидва коліна опустити по однаковій дерев'яній кульці?
37. Для очищення насіння жита від ріжків споришу насіння поміщають у 20%-ний водяний розчин кухонної солі. Тоді спориш спливає, жито залишається на дні. Про що це свідчить?
38. Лактометром визначають густину молока. Глибина занурення лактометра залежить від кількості вмісту жиру у молоці. Чому?
39. Чому нагріте повітря піднімається у більш холодному?
40. Чи однакову потужність розвиває двигун вагону трамвая, якщо він рухається з однаковою швидкістю без пасажирів і з пасажирями?
41. Чому дверну ручку монтують біля краю дверей?
42. Коли палку тримати у руках за кінці, то її важко переламати. Якщо ж середину палки покласти на підставку, то переламати її легше. Чому?
43. Чи повинні змінюватись величини сил, які прикладають до напилку правою і лівою рукою під час обробки горизонтальної площадки?
44. До важеля з одного боку підвісили латунну, а з другого — такої самої маси чавунну гирю. Чи збережеться рівновага важеля, якщо обидві гири занурити у воду?
45. Відомо, що нерухомий блок не дає виграшу у силі. Однак, при перевірці за допомогою динамометра виявляється, що сила, яка утримує вантаж на нерухомому блоці, дещо менша від сили тяжіння вантажу, а за рівномірного підняття — більша за неї. Чим це пояснюється?

46. Чому у будівельних кранів крюки, які переносять вантаж, закріплюють не на кінці троса, а на обоймі рухомого блоку?
47. На однаковій висоті знаходяться шматок алюмінію і шматок свинцю однакового об'єму. Чи однакову потенціальну енергію мають ці тіла?
48. Автомобіль спускається з гори з вимкненим двигуном. За рахунок якої енергії рухається автомобіль?
49. Чому важка машина повинна мати більш сильні гальма, ніж легша?
50. Чи потрібно виконувати роботу для зміни швидкості тіл за умови невагомості, якщо не існує ні тертя, ні опору середовища?
51. Гімнаст спочатку стрибає на гнучку дошку — трамплін, а потім у стрибку піднімається вгору. Чому в цьому випадку стрибок буде більш високим, ніж стрибок без трампліна?
52. Як зміниться рух кулі, якщо на її шляху буде дошка, яку вона пробиває? Чи збережеться при цьому кінетична енергія кулі незмінною? Чи не суперечить закону збереження енергії зміна кінетичної енергії при пробиванні кулею дошки?
53. Чому іноді автомобіль не може піднятися на гору, якщо перед підйомом не розігнався (не набув значної швидкості)?

### Методичні рекомендації

Задачі з механіки учням даються найважче. З чого необхідно починати? У багатьох випадках треба починати із розгляду сил, прикладених до тіла.

*Розглянемо приклади, а саме, випадки, коли тіло кинуте під кутом до горизонту, тіло ковзає по похилій площині, тіло обертається на нитці у вертикальній площині, тіло є маятником (рис. 1). Зобразимо на рисунках усі ці випадки.*

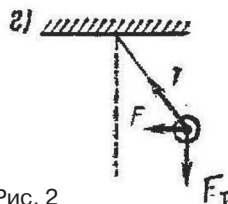
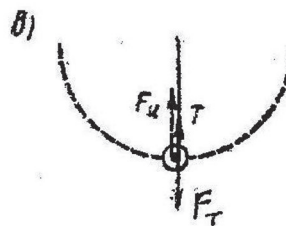
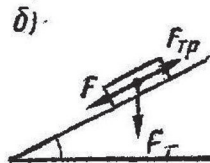
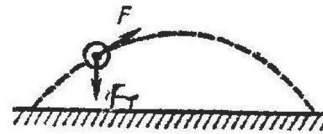
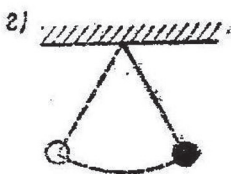
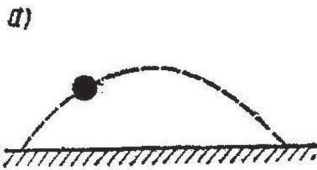


Рис. 1

Рис. 2

Просимо учня зробити рисунки і пояснити, які сили в кожному з випадків діють на тіло (рис. 2).

Учень пояснює, які сили прикладені у кожному із випадків:

- у першому випадку  $F_T$  — сила тяжіння,  $F$  — сила кидання;
- у другому випадку  $F_T$  — сила тяжіння,  $F$  — скочуюча сила,  $F_{тр}$  — сила тертя;
- у третьому випадку  $F_T$  — сила тяжіння,  $F_{доц}$  — доцентрова сила,  $T$  — сила натягу нитки;
- у четвертому випадку  $F_T$  — сила тяжіння,  $F$  — повертаюча сила,  $T$  — сила натягу нитки.

В усіх випадках учень допустив помилки. Правильними будуть рисунки 3.

Необхідно врахувати, що сила виникає внаслідок взаємодії тіл. Тому, щоб показати сили, які діють на тіло, необхідно попередньо вияснити, які тіла взаємодіють з даним тілом. У першому випадку з тілом взаємодіє лише Земля, вона його притягає (рис. 3 а). Тому до тіла прикладена єдина сила — сила тяжіння  $F_T$ . Якщо враховувався би опір повітря або, наприклад, дія вітру, то тоді треба було б ввести додаткові сили. Такої сили, як «сила кидання», не існує у природі, оскільки немає взаємодії, яка привела би до появи такої сили.

Учень стверджує: щоб кинути тіло, на нього обов'язково необхідно подіяти силою.

Це дійсно так. Коли кидають тіло, то діють на нього деякою силою. Проте у вказаному вище випадку розглядається рух тіла вже після того, як його кинули, тобто після того, як припинилася дія сили, що надала тілу початкової швидкості польоту. Силу неможливо «накопичити» — закінчилася взаємодія тіл, тому немає сили.

Але якщо на це тіло діє лише сила тяжіння, то чому воно не падає вертикально вниз, а рухається по певній траєкторії? У цьому випадку напрям руху тіла не співпадає із напрямом діючої на нього сили. Проте це повністю узгоджується з другим законом Ньютона.

У другому випадку (рис. 3 б) тіло зісковзує з похилої площини. З'ясуємо, які тіла взаємодіють з ним: це Земля і похила площина. Тоді силами, прикладеними до тіла, буде сила тяжіння, а похила площина зумовлює силу тертя ковзання  $F_{тр}$  і реакцію опори  $N$ . Зауважимо, що на рисунку учня сили реакції опори взагалі не було.

Учень здивований, каже, виходить, що похила площина діє на тіло двома силами.

Поправимо. Сила одна, але її зручно розглядати у вигляді двох складових, одна із яких спрямована уздовж площини (сила тертя ковзання), а друга — перпендикулярна до неї (сила реакції опори). Той факт, що ці сили мають однакове походження, тобто являються складовими однієї і тієї ж сили, відображається в існуванні універсального зв'язку між  $F_{тр}$  та  $N$

$$F_{тр} = kN, \quad (41)$$

де  $k$  — коефіцієнт тертя ковзання.

Іноді учні використовують термін «скочуюча сила». Однак треба пам'ятати, що така сила є однією із складових сили тяжіння, яка спрямована уздовж площини і перпендикулярна до неї. Тому, якщо говориться про сили, прикладені до тіла, і названа сила тяжіння, то після цього нема потреби додавати «скочуючу силу».

У третьому випадку (рис. 3 в) тіло обертається у вертикальній площині. Які тіла взаємодіють з ним? Очевидно, що це Земля і нитка. Тому можемо стверджувати, що до тіла прикладені дві сили: сила тяжіння і сила натягу нитки. А як відносно доцентрової сили?

Доцентрова сила не є додатково прикладеною до тіла силою; це рівнодійна сил, прикладених до нього. У цьому випадку (коли тіло перебуває у найнижчій точці траєкторії) доцентрова сила є різницею сили натягу нитки і сили тяжіння.

Тоді логічно, що у четвертому випадку (рис. 3 д) повертаюча сила також є рівнодійною сили тяжіння і сили натягу нитки.

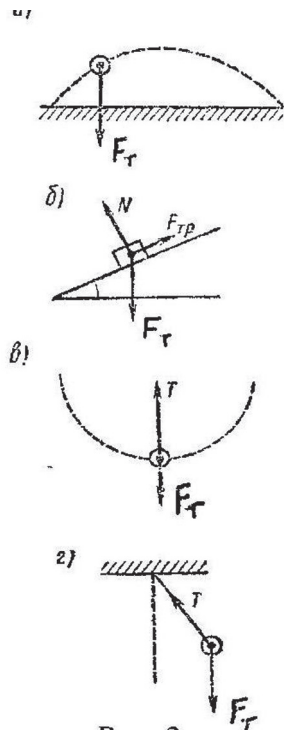


Рис. 3

У цих двох випадках з тілом взаємодіють нитка і Земля, а тому до тіла прикладені дві сили: сила натягу нитки і сила тяжіння.

*Запам'ятаймо, що сила виникає внаслідок взаємодії тіл, вона не може з'явитись з будь-яких інших причин. Необхідно виявити тіла, діючі на даний об'єкт, і тоді виявляються сили, прикладені до цього об'єкта.*

Існують більш складні випадки взаємодії тіл. *Наприклад, на тіло тиснуть з деякою горизонтально спрямованою сталою силою  $F$ , внаслідок чого воно піднімається вгору по похилій площині. Сили, прикладені до тіла у цьому випадку зображені на рис. 4*

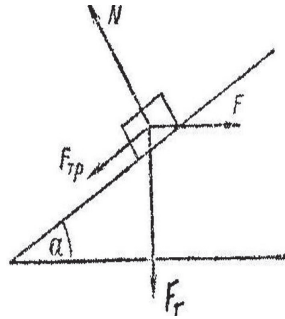


Рис. 4

*Іншим прикладом може бути коливання зарядженого маятника, розміщеного всередині плоского конденсатора. В цьому випадку з'являється додаткова сила  $F_e$  — сила, з якою електричне поле конденсатора діє на заряд маятника (рис 5).*

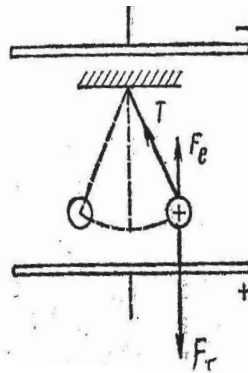


Рис. 5

*Розглянемо ще випадок, коли в задачі приймає участь не одне, а декілька тіл. Наприклад, як це показано на рис. 6*

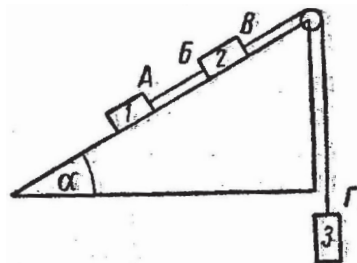


Рис. 6

Кожен раз необхідно чітко уявляти, рух якого тіла (або сукупності тіл) ми розглядаємо. Наприклад, рух тіла 1 в цьому прикладі. З цим тілом взаємодіє Земля, похила площина і нитка  $AB$ . Тіло 2 взаємодіє з тілом 1 через нитку  $AB$ . До тіла 1 прикладені сили  $F_T'$  (сила тяжіння), сила тертя ковзання  $F_{тр}$ , сила реакції опори  $N'$  і сила натягу нитки  $T' AB$  (рис. 7 а).

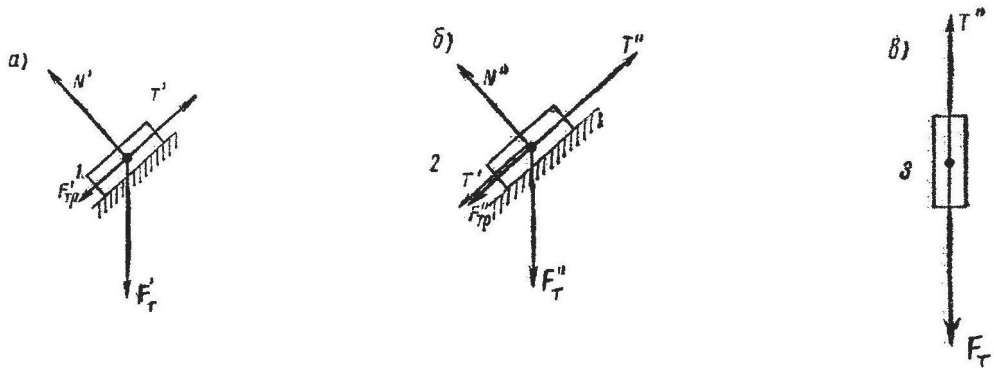


Рис. 7

Щоб з'ясувати напрям сили тертя, необхідно знати напрям руху тіла. Якщо в умові задачі про це не говориться, то треба самому обрати той чи інший напрям. У цьому випадку припустимо, що тіло 1 рухається (разом з усією системою тіл) вправо — блок обертається за годинниковою стрілкою. Очевидно, що наперед нам це невідомо. Напрямок руху стає відомим лише після підстановки числових значень. Якщо ми помилилися при розрахунку, то обчислене прискорення буде із знаком мінус. У цьому випадку стає очевидним, що тіло рухається вліво (блок обертається проти годинникової стрілки). Якщо спрямуємо відповідним чином силу тертя ковзання, то отримаємо формулу для обчислення прискорення і знову перевіримо його на знак, підставивши числові значення.

Здавалось би, що повторно перевіряти знак прискорення не потрібно, оскільки, якщо він вийшов у першому випадку від'ємним, то у другому буде додатним. Але в обох випадках прискорення може бути від'ємним. Не треба забувати, що тіло може перебувати і в стані спокою.

Будемо вважати, що блок обертається за годинниковою стрілкою і розглянемо рух тіла 2. З цим тілом взаємодіє Земля, похила площина, нитка  $AB$  і нитка  $BГ$ . Сили, прикладені до тіла 2, показані на рис. 7 б.

Тепер розглянемо тіло 3. Це тіло взаємодіє лише з Землею і ниткою  $BГ$ . Сили, прикладені до тіла 3, показані на рис. 7 в.

Після того, як ми виявили сили, прикладені до кожного з тіл, можна записати рівняння руху для кожного з них і розв'язати систему отриманих рівнянь.

Відзначимо, що не обов'язково розглядати окремі тіла, але й як сукупність тіл, тобто тіла 1, 2 і 3 як одне ціле. У цьому випадку не потрібно враховувати сили натягу ниток, оскільки вони є внутрішніми силами — силами взаємодії між окремими частинами об'єкта. Система трьох тіл як одне ціле взаємодіє лише з Землею і похилою площиною.

**Виникає ще питання відносно сили натягу нитки  $BГ$ , чи вона однакова по обидва боки від блоку (попередньо ми говорили про рівність).**

Якщо строго тлумачити, то у випадку обертання блока за годинниковою стрілкою натяг ділянки нитки  $BГ$ , прикріпленої до тіла 3, повинен бути більшим за натяг ділянки нитки  $BГ$ , прикріпленої до тіла 2. Ця різниця сил натягу й зумовлює прискорення обертання блока. Однак у наведеному прикладі вважалось, що масою блока можна знехтувати, тобто блок розглядався просто як засіб зміни напрямку нитки, яка зв'язує тіла 2 і 3. Тому можна вважати, що натяг нитки  $BГ$  по обидва боки від блока однаковий.

**Ще необхідно звернути увагу на точки прикладання сил. Чи правильно на рисунках показувати всі сили з однієї точки? Чи можна прикладати у центрі тяжіння тіла силу тертя?**

Враховуючи, що ми розглядаємо тіла як матеріальні точки, на рисунках зображено тіло, а не точка, виключно для наочності. Тому усі сили, прикладені до тіла, можна показувати з однієї точки.

**Що втрачається, коли тіло розглядається як матеріальна точка?**

За такого спрощеного підходу ми не приймаємо до уваги обертові моменти, які в реальних умовах можуть приводити до повороту тіла, і, отже, воно може перекинутись. Матеріальна точка може рухатись лише поступально. Поступальний рух точки може відбуватись різними траєкторіями, в тому числі і по колу. Але у нашому випадку, говорячи про неможливість обертального руху для точки, мається на увазі, що точка не може обертатися навколо самої себе, тобто навколо осі, яка проходить через саму точку.

**Чи вміють учні користуватись законами збереження у механіці?**

**Розглянемо декілька задач:**

1. Дано дві похилі площини однакової висоти  $H$ , але з різними кутами нахилу  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . По цих площинах без тертя зісковзують тіла. Початкові швидкості тіл дорівнюють нулеві. Знайти швидкості тіл наприкінці шляху.
2. Відомо, що формула, яка виражає кінцеву швидкість тіла через прискорення і шлях має вигляд  $v = \sqrt{2as}$  за відсутності початкової швидкості. Як виразиться кінцева швидкість тіла за наявності у нього початкової швидкості  $v_0$ ?
3. З висоти  $H$  кидають тіло з горизонтальною швидкістю  $v_0$ . Знайти швидкість тіла у момент приземлення.
4. Тіло кидають під кутом  $\alpha$  до горизонту з початковою швидкістю  $v_0$ . Знайти максимальну висоту підняття тіла.

Учень переважно розв'язує задачі так:

1. Розглядаємо одну похилу площину з кутом нахилу  $\alpha_1$ . До тіла прикладена сила тяжіння  $F_t$  і сила реакції опори  $N_1$ . Розкладемо силу  $F_t$  на напрям уздовж площини ( $F_t \sin \alpha_1$ ) і перпендикулярно до неї ( $F_t \cos \alpha_1$ ). Запишемо рівняння для сил, діючих перпендикулярно до площини:

$$F_m \cos \alpha_1 - N_1 = 0 ,$$

а для сил, діючих уздовж площини:

$$F_m \sin \alpha_1 = Pa_1 / g ,$$

де  $a_1$  — прискорення тіла. З другого рівняння знаходимо

$$a_1 = g \sin \alpha_1 .$$

Шлях, пройдений тілом, дорівнює  $H / \sin \alpha_1$ . Використовуючи далі формулу  $v = \sqrt{2as}$  отримуємо, що швидкість тіла в кінці шляху дорівнює

$$v_1 = \sqrt{2a_1 s_1} = \sqrt{2g \sin \alpha_1 H / \sin \alpha_1} = \sqrt{2gH} .$$

Оскільки кінцевий результат не залежить від кута нахилу, то його можна застосувати і до тіла, яке рухається по другій площині з кутом нахилу  $\alpha_2$ .

2. Для розв'язування другої задачі користуються відомими кінематичними співвідношеннями:

$$v = v_0 + at ;$$

$$S = v_0 t + at^2 / 2$$

З першого рівняння отримуємо  $t = (v - v_0) / a$ . Підставивши  $t$  в друге рівняння, знайдемо

$$S = v_0(v - v_0) / a + (a / 2)(v - v_0)^2 / a^2 ,$$

або

$$2as = 2v_0 v - 2v_0^2 + v^2 - 2vv_0 + v_0^2 ,$$

звідси  $2as = v^2 - v_0^2$ . Отримуємо кінцевий результат:

$$v = \sqrt{2as + v_0^2} .$$



3. Для вирішення третьої задачі знайдемо горизонтальну  $v_1$  і вертикальну  $v_2$  складові кінцевої швидкості. Оскільки по горизонталі тіло рухається рівномірно, то  $v_1 = v_2$ .

По вертикалі тіло рухається з прискоренням  $g$  без початкової швидкості, тому можемо використати рівняння  $v_2 = \sqrt{2gH}$ . Використавши теорему Піфагора, отримаємо шуканий результат:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gH}.$$

4. Для розв'язання четвертої задачі розкладемо початкову швидкість тіла на горизонтальну  $v_0 \cos \alpha$  і вертикальну  $v_0 \sin \alpha$  складові. Для визначення вертикального переміщення тіла потрібно у першу чергу знайти час підняття тіла з формули залежності швидкості від часу при рівносповільненому русі ( $v_g = v_0 \sin \alpha - gt$ ), враховуючи, що при  $t = t_1$  вертикальна складова швидкості рівна нулю. Таким чином,  $v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0$ , звідки  $t_1 = (v_0 / g) \sin \alpha$ . Знаючи  $t_1$ , знайдемо шукану висоту  $H$  за формулою залежності шляху від часу при рівносповільненому русі:

$$H = v_0 \sin \alpha t_1 - gt_1^2 / 2 = (v_0^2 / 2g) \sin^2 \alpha.$$

Усі задачі розв'язані правильно. Однак можна використати простіший метод, якщо скористатись законом збереження енергії.

Для першої задачі закон збереження енергії запишеться так:

$$mgH = \frac{mv^2}{2}$$

(потенціальна енергія тіла у верхній точці площини дорівнює його кінетичній енергії у нижній точці). Звідси безпосередньо знаходимо швидкість тіла в нижній точці:

$$v = \sqrt{2gH}.$$

Друга задача. Закон збереження енергії має вигляд

$$mv_0^2 / 2 + mas = mv^2 / 2,$$

де  $mas$  — робота сили, яка надає тілу прискорення  $a$ . Звідси одразу отримуємо

$$v_0^2 + 2as = v^2,$$

або остаточно маємо

$$v = \sqrt{2as + v_0^2}.$$

Для третьої задачі закон збереження енергії має вигляд

$$mgH + mv_0^2 / 2 = mv^2 / 2,$$

звідки

$$v = \sqrt{2gH + v_0^2}.$$

У четвертій задачі в точці кидання енергія тіла рівна  $mv_0^2 / 2$ .

У верхній точці траєкторії енергія тіла буде

$$mgH + mv_1^2 / 2.$$

Оскільки швидкість  $v_1$  у верхній точці рівна  $v_0 \cos \alpha$ , то, використавши закон збереження енергії

$$mv_0^2 / 2 = mgH + (mv_0^2 / 2) \cos^2 \alpha,$$

знаходимо

$$H = (v_0^2 / 2g)(1 - \cos^2 \alpha),$$

або остаточно

$$H = (v_0^2 / 2g) \sin^2 \alpha.$$

Бачимо, що цим методом задачі розв'язуються простіше.

Для закріплення знань розв'яжемо ще одну задачу.

*Тіло рухається рівномірно, по колу, в горизонтальній площині. Силу тертя не враховуємо. Знайти виконану роботу за одне обертання тіла.*

Учень каже, що робота дорівнює добутку сили на шлях. Доцентрова сила надає тілу прискорення. Отже, в даному випадку робота рівна  $(mv_2 / R)2\pi R = 2\pi mv^2$ , де  $R$  — радіус кола,  $m$  і  $v$  — відповідно маса і швидкість тіла. Згідно із законом збереження енергії, робота безслідно не зникає. На що витрачається обчислена робота?

Учень скаже, що робота йде на обертання тіла або на утримання його на коловій орбіті. Однак це неправильно. Щоб утримати тіло на коловій траєкторії не потрібно виконувати роботу.

Надана тілу енергія може розподілитись по-різному: на збільшення кінетичної енергії тіла, на збільшення потенціальної енергії тіла, на роботу, яку тіло виконує над іншими тілами, на теплоту, яка виділяється внаслідок тертя.

Тіло рухається із сталою за величиною швидкістю, а отже, його кінетична енергія не змінюється (перше припущення відпадає). Тіло рухається в горизонтальній площині, тому не змінюється його потенціальна енергія (відпадає й друге). Це тіло не виконує роботи над іншими тілами, тому закритий третій напрям. І четвертий теж відпадає, тому що не діють сили тертя.

Виходить, що робота доцентрової сили зникає. Тоді можна сказати, що закон збереження енергії не виконується, або потрібно довести його справедливність.

Очевидно доцентрова сила ніякої роботи не виконує. Цей висновок є наслідком закону збереження енергії.

А тоді як пояснити цей результат? У формулу роботи крім сили і шляху входить ще косинус кута між напрямками сили і швидкості:

$$A = FS \cos \alpha.$$

В нашому випадку  $\cos \alpha = 0$  і цього забувати не можна.

Розглянемо ще одну задачу.

*У ящик масою  $M$ , який підвішений на тонкій нитці, попадає куля з масою  $m$ , що летить із горизонтальною швидкістю  $v_0$  і застряє в ящику. На яку висоту  $H$  підніметься ящик після попадання кулі в результаті відхилення нитки від положення рівноваги (рис. 8)?*

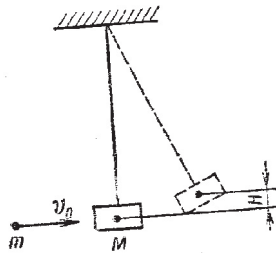


Рис. 8

Позначимо швидкість ящика з кулею одразу після попадання в нього кулі  $v_1$ . Для знаходження цієї швидкості використаємо закон збереження енергії:

$$mv_0^2 / 2 = (m + M)v_1^2 / 2,$$

звідки

$$v_1 = v_0 \sqrt{m / (m + M)}.$$

Знаючи цю швидкість, знайдемо висоту  $H$  підняття ящика, знову використовуючи закон збереження енергії:

$$(m + M)gH = (m + M)v_1^2 / 2.$$

Об'єднаємо останнє рівняння і  $mv_0^2 / 2 = (m + M)v_1^2 / 2$ :

$$(m + M)gH = mv_0^2 / 2.$$

Звідти отримаємо:

$$H = (v_0^2 / 2g)m / (m + M) .$$

Це неправильно. Тут потрібно використати закон збереження імпульсу. Замість формули  $mv_0^2 / 2 = (m + M)v_1^2 / 2$  використаємо співвідношення  $mv_0 = (m + M)v_1$  (імпульс кулі до удару дорівнює імпульсу ящика з кулею після удару). Звідси маємо, що

$$v_1 = v_0 m / (m + M) .$$

Якщо далі використати закон збереження енергії  $(m + M)gH = (m + M)v_1^2 / 2$  і підставити в це рівняння  $v_1 = v_0 m / (m + M)$ , то отримаємо:

$$H = (v_0^2 / 2g)m^2 / (m + M)^2 .$$

Отже, ми маємо два різних результати. В одному випадку до удару кулі в ящик використується закон збереження кінетичної енергії, тоді як у другому випадку використаний закон збереження імпульсу. Тут треба знати, що при ударах закон збереження імпульсу виконується завжди, а закон збереження енергії — не завжди. Оскільки в нашому випадку ці два закони приводять до різних результатів, то, вочевидь, справедливо буде використати закон збереження імпульсу. Удар, після якого обидва тіла, що зіткнулися, рухаються як одне ціле (або одне всередині другого), називають абсолютно непружним ударом. Для цього удару характерна наявність залишкової деформації тіл, що взаємодіють. В результаті цього виділяється деяка кількість тепла, а тому співвідношення  $mv_0^2 / 2 = (m + M)v_1^2 / 2$ , яке враховує лише кінетичні енергії тіл, є неприйнятними. У цьому випадку, щоб знайти швидкість ящика з кулею після удару, необхідно використати закон збереження імпульсу  $mv_0 = (m + M)v_1$ .

*Отже, нібито закон збереження енергії за абсолютно непружного удару не виконується, але ж він є універсальним. Але при такому ударі не зберігається лише кінетична енергія, але не повна.*

Якщо позначити через  $Q$  теплоту, що виділяється при ударі, то можна записати наступну систему рівнянь законів збереження, яка належить до абсолютно непружного удару, розглянутого вище:

$$mv_0 = (m + M)v_1 ,$$

$$mv_0^2 / 2 = (m + M)v_1^2 / 2 + Q .$$

Тут перше рівняння — закон збереження імпульсу, друге — закон збереження енергії (включає не лише механічну енергію, а й теплову).

Ця система містить два невідомі  $v_1$  і  $Q$ . Визначивши  $v_1$  з першого рівняння, можна скористатися другим рівнянням для знаходження виділеної теплоти  $Q$ :

$$Q = (mv_0^2 / 2) - (m + M)m^2 v_0^2 / 2(m + M)^2 = \frac{mv_0^2}{2} \left(1 - \frac{m}{m + M}\right) .$$

Звідси видно, що чим більша маса  $M$ , тим більше енергії перетвориться на тепло. У межах безмежно великої маси  $M$  отримуємо, що  $Q = mv_0^2 / 2$ , тобто вся кінетична енергія кулі перетворюється на теплоту. Це можливо: уявимо, що куля застряє у стіні.

**Чи можливі удари без виділення теплоти?**

Так, такі удари можливі. Вони називаються абсолютно пружними. Наприклад, удар двох сталених кульок може з достатнім наближенням розглядатись як абсолютно пружний удар. При цьому відбувається чисто пружна деформація кульок, теплота не виділяється. Після удару кульки приймають попередню форму.

*Отже, при абсолютно пружному ударі закон збереження енергії є законом збереження кінетичної енергії.*

Виникає питання, як у цьому випадку узгоджуються два закони збереження енергії і імпульсу? При пружному ударі тіла розлітаються з різними швидкостями. Тоді для двох невідомих швидкостей потрібні два рівняння, що підтверджує правомірність застосування обох законів збереження.

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Двигун автомобіля розвиває потужність  $N = 60$  кВт при швидкості  $v = 90$  км/год. ККД двигуна  $\eta = 32\%$ .

**I рівень.** Енергія, що виділяється при згоранні палива в двигуні, витрачається:

а) тільки на збільшення внутрішньої енергії газу; б) тільки на виконання роботи; в) на збільшення внутрішньої енергії і виконання роботи газом; г) правильної відповіді тут немає.

**II рівень.** Визначити силу тяги двигуна.

**III рівень.** На скільки кілометрів вистачить 55 л бензину при вказаній швидкості?

**Розв'язання**

$$\begin{aligned} N &= 60 \text{ кВт} = 6 \cdot 10^4 \text{ Вт} \\ v &= 90 \text{ км/год} = 25 \text{ м/с} \\ \eta &= 32\% \\ V &= 55 \text{ л} = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \\ \rho &= 700 \text{ кг/м}^3 \\ q &= 46 \text{ МДж/кг} = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II} \quad & F = ? \\ \text{III} \quad & S = ? \end{aligned}$$

**I рівень.** Енергія, яка виділяється при згоранні палива, за законом збереження витрачається на збільшення внутрішньої енергії газу (збільшення його температури) і на виконання роботи проти зовнішніх сил (збільшення об'єму газу).

**Відповідь:** При згоранні палива його енергія витрачається на збільшення внутрішньої енергії газу і на виконання газом роботи (в).

**II рівень.** Силу тяги двигуна  $F$  визначаємо зі співвідношення між силою тяги  $F$ , швидкістю руху  $v$  і потужністю двигуна  $N$ :  $N = Fv$ , звідки

$$F = N/v \quad (1).$$

Обчислюємо:  $F = 6 \cdot 10^4 / 25 = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Н} = 2,4 \text{ кН}$ .

**Відповідь:**  $F = 2,4 \text{ кН}$ .

**III рівень.** Із формули роботи  $A = FS$  визначаємо шлях:

$$S = A / F \quad (2),$$

де  $A$  — корисна робота, що становить  $\eta\%$  від загальної кількості тепла, яке виділяється при згоранні палива:

$$A = \eta Q.$$

Ця кількість тепла дорівнює  $Q = qm$ , де масу палива  $m$  визначаємо через добуток  $m = \rho V$ , отже,  $Q = q\rho V$ . Тоді

$$A = \eta q\rho V \quad (3).$$

Підставляючи (1) і (3) в (2), отримуємо:

$$S = \eta q\rho V / (N / v) = \eta q\rho V v / N.$$

Перевіряємо одиницю вимірювання:

$$[S] = \frac{\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{кг} / \text{м}^3 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{м} / \text{с}}{\text{Вт}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м} / \text{с}}{\text{Вт}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{м} / \text{с}}{\text{Вт}} = \text{м}.$$

Проводимо обчислення:  $S = 0,32 \cdot 4,6 \cdot 10^7 \cdot 700 \cdot 5,5 \cdot 10^{-10} \cdot 25 / 6 \cdot 10^4 = 236 \cdot 10^3 \text{ м} = 236 \text{ км}$ .

**Відповідь:**  $S = 236 \text{ км}$ .

**Задача 2.** Два робітники несуть рейку масою  $m = 100$  кг і довжиною  $L = 6$  м. Робітник, що йде позаду, підтримує рейку на відстані  $b = 1,5$  м від кінця, а робітник, що йде попереду, тримає за протилежний кінець.

**I рівень.** На рейку діє: а) одна сила; б) дві сили; в) три сили; г) правильна відповіді відсутня.

**II рівень.** Визначити навантаження, яке діє на робітника, що йде попереду.

**III рівень.** Якої маси вантаж треба підвісити на рейці на відстані  $b_1 = 0,5$  м від переднього кінця, щоб навантаження на обох робітників було однаковим?

**Розв'язання**

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$L = 6 \text{ м}$$

$$b = 1,5 \text{ м}$$

$$b_1 = 0,5 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$\text{II} \quad F_1 - ?$$

$$\text{III} \quad m_x - ?$$

**I рівень.** На рейку діє сила тяжіння  $m\vec{g}$  і дві сили реакції опори (робітників)  $\vec{N}_1$  і  $\vec{N}_2$ . За третім законом Ньютона сили реакції за величиною рівні відповідним силам, що діють на опори з боку рейки.

**Відповідь:** На рейку діють три сили (в).

**II рівень.** Задачу розв'язуємо в скалярній формі у проекціях сил на вісь  $Y$ . Умови рівноваги в позначеннях даної задачі:

$$\vec{N}_1 + \vec{N}_2 - m\vec{g} = 0, \text{ звідси } N_2 = mg - N_1 \quad (1).$$

2. Записуючи другу умову, приймаємо до уваги, що рейка однорідна, тоді центр мас (точка  $C$ ) знаходиться посередині рейки. Отже,

$$N_1(L/2) + N_2[(L/2) - b] = 0.$$

Звідси:

$$N_1 L = N_2(L - 2b) \rightarrow N_2 = N_1 L / (L - 2b) \quad (2).$$

Підставивши значення  $N_2$  з (2) в (1), отримаємо:

$$N_1 L = (mg - N_1)(L - 2b), \text{ звідки } N_1 = mg(L - 2b) / (2(L - b)).$$

Обчислюємо:

$$F_1 = 100 \cdot 9,8 \cdot (6 - 2 \cdot 1,5) / (2(6 - 1,5)) = 327 \text{ Н}.$$

**Відповідь:**  $F_1 = 327 \text{ Н}$ .

**III рівень.** Розв'язок цієї частини задачі подібний до розв'язку другого рівня, але остаточно  $m_x$  визначається із виразу

$$m = F_x / g \quad (3).$$

Умова рівноваги сил, що діють на рейку:

$$N_1 + N_2 - F_x - mg = 0.$$

(Зазначимо, що  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  прикладені до опор-робітників,  $F_1 = N_1, F_2 = N_2$ ).

Оскільки  $F_1 = F_2 = F$ , то  $N_1 = N_2 = N$ . Тоді умова рівноваги набуває вигляду:

$$2N - F_x - mg = 0 \quad (4).$$

Умова рівності моментів сил відносно осі, що проходить через точку  $C$ :

$$N_2(L/2 - b) + (L/2 - b_1) - N_1 L/2 = 0$$

або

$$N(L/2 - b) + (L/2 - b_1) - N L/2 = 0,$$

звідки

$$N = F_x(L - 2b_1) / (2b).$$

Підставляємо цей вираз в рівняння (4):

$$2F_x(L - 2b_1) / (2b) - F_x - mg = 0,$$

звідки маємо

$$F_x = mgb / (L - 2b_1 - b).$$

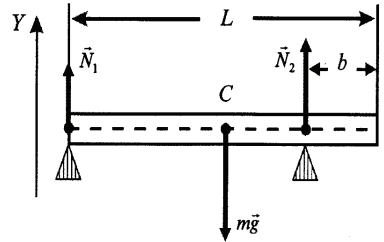
Підставляємо  $F_x$  в (3).

Остаточно отримуємо:

$$m_x = F_x / g = mb / (L - 2b_1 - b).$$

Обчислюємо:  $m_x = 100 \cdot 1,5 / (6 - 2 \cdot 0,5 - 1,5) = 42,9 \text{ кг}$ .

**Відповідь:**  $m_x = 42,9 \text{ кг}$ .



### *Задачі для самостійного розв'язування*

1. З пункту А проти течії ріки вийшов пароплав, швидкість якого 18 км/год відносно води. Швидкість води у річці 2 м/с. На якій відстані від пункту А буде пароплав через 2 години?
2. Автобус рухається зі швидкістю 72 км/год, після вимкнення двигуна він рухається з прискоренням 1 м/с<sup>2</sup> і після цього зупиняється. Через який час після вимкнення двигуна автобус зупиниться?
3. Тіло кинули вертикально вгору з висоти 30 м з початковою швидкістю 20 м/с. Через який час воно впаде на землю?
4. Тіло підняли на висоту рівну радіусу Землі. У скільки разів зменшилась його сила тяжіння?
5. Тіло масою 2 кг піднімають за допомогою нитки рівноприскорено, із прискоренням 2,8 м/с<sup>2</sup>. Знайти силу натягу нитки. Чому дорівнює вага тіла?
6. Тіло масою 5 кг тягнуть за допомогою нитки вгору по похилій площині ( $\alpha = 30^\circ$ ) з прискоренням 2 м/с<sup>2</sup> ( $v_0 = 0$ ). Знайти силу натягу нитки, якщо коефіцієнт тертя 0,2.
7. Період рівномірного руху по колу радіусом 1 м становить 2 с. Знайти лінійну і кутову швидкості, частоту обертання і доцентрове прискорення точки.
8. Щоб змінити довжину пружини на 1 см, необхідна дія зовнішньої сили 200 Н. Чому дорівнює потенціальна енергія пружини, деформація якої складає 4 см?
9. На шляху 100 м швидкість автомобіля масою 2000 кг зростає від 0 до 72 км/год. Знайти силу тяги автомобіля. Тертя не враховувати.
10. Балка масою 300 кг і довжиною 3 м спирається на вертикальну стіну так, що нижній її кінець відстає від стіни на відстань 1 м. З якою силою балка діє на стіну?

## МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

### *Теоретичні положення, основні формули*

Молекулярно-кінетична теорія пояснює теплові явища, фізичні властивості тіл і речовин у різних агрегатних станах, на основі їх молекулярної будови, взаємодії і руху частинок.

**Основними положеннями теорії є:**

- фізичні тіла мають дискретну будову, вони складаються з частинок (атомів, молекул, іонів);
- частинки перебувають у неперервному безладному русі;
- між частинками відбувається взаємодія, яка характеризується силами притягання і відштовхування.

*Цементация сталі ґрунтується на явищі дифузії атомів вуглецю у поверхневий шар сталей за високих температур.*

*Поверхня двох шматків свинцю легше наблизити на відстань, де проявляються сили молекулярного зчеплення, оскільки свинець м'який; зі сталлю це зробити важче.*

Чим більше молекул (або атомів) в макроскопічному тілі, тим більше речовини міститься в ньому. Для вимірювання кількості речовини вводять одиницю, яка називається **молем**.

**Моль** — це кількість однорідної речовини, яка містить стільки ж молекул, скільки міститься атомів в 0,012 кг вуглецю. Число молекул або атомів у молі речовини однакове для усіх речовин — **число Авогадро** ( $6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>). Маса одного моля речовини називається **молярною масою**. Молярна маса рівна добутку маси молекули даної речовини на сталу Авогадро:

$$M = m_M \cdot N_A. \quad (1)$$

Маса будь-якої кількості речовини у тілі рівна  $m = N/N_A \cdot M = nM$ .

*Молекули і атоми мають складну будову. Кожна молекула оточена електромагнітним полем, інтенсивність якого дуже швидко зменшується з відстанню.*

Об'єм одного моля речовини називають **молярним об'ємом**.

При нагріванні або охолодженні твердих тіл, рідин, газів змінюється їх об'єм. Це свідчить про наявність між частинками проміжків. При зіткненні тіл частинки одного з них зникають у проміжки між частинками іншого. Це явище називається **дифузією**.



Хаотичний рух нерозчинних твердих частинок малого розміру в рідинах або газах під дією молекул рідини чи газу називають **броунівським рухом**. Внаслідок хаотичності руху удари молекул рідини або газу об частинку не компенсуються, тому результируючий імпульс не дорівнює нулеві і броунівська частинка змінює напрям руху.

*Вершки на молоці швидше відстоюються в холодному приміщенні, внаслідок послаблення броунівського руху краплинок масла.*

*Із збільшенням температури зростає швидкість дифузії, тому у гарячій воді цукор розчиняється швидше, ніж у холодній.*

*Здатність твердого тіла чинити опір розтягу або стисненню, існування сил поверхневого натягу рідин, змочування твердих тіл рідинами доводять існування сил взаємодії між молекулами речовини у будь-якому стані.*

Речовини у природі можуть перебувати в чотирьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному, плазмовому.

Неперервний хаотичний рух частинок називається **тепловим рухом**.

У твердих тілах частинки здійснюють хаотичні коливальні рухи біля положень рівноваги, а в рідинах частинки здійснюють коливальні рухи біля положень рівноваги і прямолінійні переміщення у нові положення рівноваги.

У газах частинки рухаються прямолінійно і хаотично до зіткнення з іншими частинками, а при зіткненні змінюється напрям швидкості і тому шлях являє собою ламану лінію.

Тепловий рух характеризується середньою квадратичною швидкістю і середньою кінетичною енергією частинок.

*У стані теплової рівноваги середні кінетичні енергії усіх молекул однакові і тіла мають однакову температуру.*

**Температура** — міра середньої кінетичної енергії теплового руху частинок.

Теплове розширення тіл пояснюється тим, що при збільшенні температури тіла збільшуються міжмолекулярні відстані.

**Коефіцієнт лінійного розширення** дорівнює відносному видовженню тіла при його нагріванні на 1 К:

$$\alpha = \frac{\ell_T - \ell_0}{\ell_0 \Delta T} . \quad (2)$$

**Коефіцієнт об'ємного розширення** дорівнює відносній зміні об'єму тіла при зміні температури на 1 К:

$$\beta = \frac{V_T - V_0}{V_0 \Delta T} . \quad (3)$$

Розширення води при нагріванні відрізняється від розширення інших рідин, що пов'язано з особливостями її молекулярної будови.

**Чим пояснюється теплове розширення води?** Учень звичай каже: при нагріванні від 0° до 4° С вода ущільнюється. Лише при подальшому підвищенні температури (від 4° С) вода починає розширюватись. Це так, але чим пояснити таку особливість? Це запитання викликає труднощі.

Для пояснення необхідно розглянути атомну структуру води. Молекули води взаємодіють між собою певним чином: кожна молекула може приєднати до себе лише чотири сусідні молекули, центри яких внаслідок приєднання молекул утворюють тетраедр (рис. 1).

В результаті утворюється ажурна структура, яка підтверджує квазікристалічність води. Про це ми можемо стверджувати лише у межах ближнього порядку. Із збільшенням відстані від виділеної молекули спо-

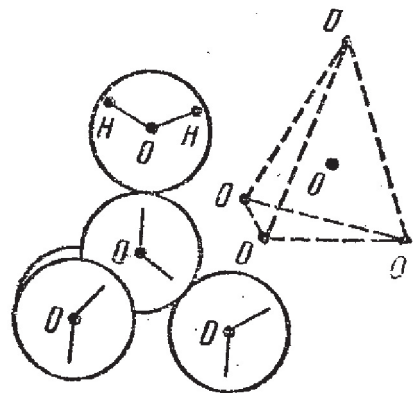


Рис. 1

стерігається поступове спотворення порядку, зумовлене розривами міжмолекулярних зв'язків. Зростання температури сприяє таким розривам, зростає число молекул з вільними зв'язками, які заповнюють пустоти тетраедричної структури. Рівень кристалізації води зменшується. Ажурна структура води пояснює аномалії фізичних властивостей води, особливості її теплового розширення. З одного боку, підвищення температури зумовлює збільшення середніх відстаней між атомами всередині молекул внаслідок підсилення внутрішньомолекулярних коливань, тобто молекули ніби «набрякають». З іншого боку, зростання температури руйнує ажурну структуру води і упакування молекул стає щільнішим. Перший ефект приводить до зменшення густини води, що зумовлює теплове розширення. Другий ефект (ефект ламання структури), навпаки, повинен призводити до збільшення густини води в міру її нагрівання. При нагріванні до 4° С переважає ефект структурування, тому густина води зростає.

При подальшому нагріванні починає переважати ефект коливань, тому густина води зменшується.

*Рідинам властиве лише об'ємне розширення.*

Стан будь-якого тіла характеризують сукупністю фізичних величин — параметрів стану.

*Параметри речовини як макротіла* — це об'єм, тиск, температура, а рівняння, яке дає зв'язок між цими параметрами, називають рівнянням стану.

**Ізопроееси** — це процеси, за яких один із параметрів системи не змінюється.

Процес зміни стану газу за сталої температури називають **ізотермічним**. Він описується законом Бойля-Маріотта: для даної маси газу за сталої температури добуток об'єму газу на тиск є величина стала

$$\begin{aligned} PV &= \text{const} , \\ (m &= \text{const} , T = \text{const} ) , \\ P_1 V_1 &= P_2 V_2 . \end{aligned} \quad (4)$$

Зміна стану газу за сталого тиску називається **ізобаричним** процесом. Закон Гей-Люссака для цього процесу записується так:

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_2} &= \frac{T_1}{T_2} , \\ V &= V_0(1 + \beta \Delta T) , \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$\beta = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1} . \quad (6)$$

*Іноді із пляшки, наповненої газом водою, вилітає корок, якщо пляшку поставити в тепле місце. Зрозуміло, що при нагріванні вуглекислого газу, який міститься у воді, його тиск зростає; збільшується й сила тиску на корок. Коли вона стає більшою від сили тертя між корком і поверхнею скла пляшки, корок вилітає.*

Якщо при зміні стану газу об'єм залишається сталим, то такий процес називають **ізохоричним** і він описується законом Шарля:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} , \quad (7)$$

$$P = P_0(1 + \gamma \Delta T) , \text{ де } \gamma = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1} . \quad (8)$$

*Іноколи із водопровідного крану витікає біла вода, подібна до молока. Це пояснюється тим, що повітря розчиняється у воді тим краще, чим більший тиск і нижча температура. Частина розчиненого повітря виділяється у вигляді величезної кількості дрібних бульбашок — вода приймає молочно-білий колір.*

*Будь-який ізопроеес на діаграмі зображується лінією, а стан газу — точкою. Однойменні ізо-лінії ніколи не перетинаються.*

Якщо змінюються всі три параметри газу, то використовуючи газові закони, можна отримати **рівняння стану ідеального газу** (це модель, коли не враховуються розміри молекул і їх взаємодія):

$$\frac{PV}{T} = \text{const}, \quad (9)$$

$PV_M = RT$  — для одного моля.

**Це рівняння Менделєєва — Клапейрона.** Для будь-якої маси газу маємо:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (10)$$

У процесі руху молекули газу, вдаряючись об стінку посудини, діють на неї з деякою силою. Відношення сили, діючої перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні називають **тиском**.

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії визначає зв'язок між тиском газу і середньою кінетичною енергією теплового руху молекул, тобто між макропараметрами і мікроскопічними характеристиками:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k, \quad (11)$$

де  $n$  — концентрація молекул. Тиск ідеального газу залежить від концентрації молекул і їх середньої кінетичної енергії.

Середня кінетична енергія теплового руху молекул ідеального газу пропорційна термодинамічній температурі

$$E_k = \frac{2}{3} \kappa T, \quad (12)$$

де  $\kappa$  — стала Больцмана.

Газові закони виходять із основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії.

Тиск суміші газів визначається за **законом Дальтона**:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} + \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = \frac{RT}{V} \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right), \quad (13)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  — парціальні тиски.

**Парціальним тиском** називають тиск, який чинить кожен газ окремо від інших, займаючи весь об'єм.

Процес переходу молекул рідини в газовий стан називають **випаровуванням**, а зворотний процес з утворенням крапель чи шару рідини — **конденсацією**. Конденсація пари супроводжується виділенням енергії.

*Свіжовипечений хліб важить більше, ніж черствий (внаслідок випаровування вологи).*

Стан пари визначається характером обміну молекулами між нею і водою. При випаровуванні рідини зростає концентрація і тиск пари, зменшується швидкість випаровування і з'являється ймовірність повернення молекул пари в рідину. При певному тиску (для деякої температури) число молекул, що залишають рідину за 1 секунду, дорівнює числу молекул, які повертаються до неї за цей час. Така пара називається **насиченою**.

*При готуванні перших страв кухарі знають, що коли підняти покритишку каструлі, яка нагрівається, то у певний момент пара, що осідає на покритищі охолоджуючись, конденсується і з неї стікає вода.*

Енергію, необхідну для перетворення у пару 1 кг рідини при температурі кипіння, називають **питомою теплотою пароутворення**  $r$ . Теплоту випаровування маси  $m$  рідини можна обчислити за формулою:

$$Q = rm, \quad (14)$$

де  $r$  залежить від температури. При конденсації пари, навпаки, виділяється теплота  $Q$  і нагріває навколишнє середовище.

**Критичною температурою**  $T_k$  називають температуру, за якої зникає межа між рідиною і парю, теплота пароутворення дорівнює нулю, пару і рідину розрізнити не можна (рис. 2, 3).

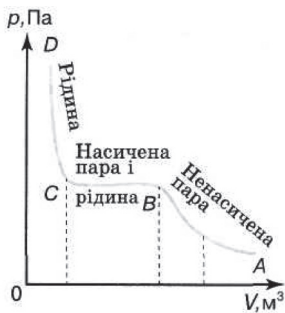


Рис. 2

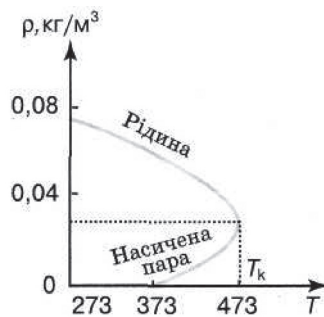


Рис. 3

Стан рідини, за якого зникає відмінність між фізичними властивостями її рідини і пари, називають **критичним станом**.

Тиск насиченої пари рідини за її критичної температури називають **критичним тиском**. Він залежить від роду рідини і за певної температури є величиною сталою, а за сталої температури не залежить від об'єму.

Випаровування, яке відбувається не лише з поверхні, але й з середини рідини, називається **кипінням**.

Кипіння відбувається за сталої температури, коли тиск насиченої пари рідини дорівнює атмосферному. При зростанні атмосферного тиску температура кипіння збільшується.

Зібравшись у похід високо в гори, треба врахувати, що атмосферний тиск зменшується, температура кипіння зменшується, тому, наприклад, м'ясо зварити не можна.

Водяна пара характеризується густиною  $\rho$  або тиском  $p$ . Останній часто називають також **абсолютною вологістю** повітря. Величина, яка показує, наскільки пара у повітрі близька до стану насичення, називається **відносною вологістю** повітря:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\% . \quad (15)$$

Водяна пара у повітрі впливає на погоду, самопочуття людини, довговічність машин і механізмів.

Побіливши квартиру пізньої осені, коли йдуть дощі, внаслідок великої вологості доведеться довше чекати, доки висохне побілка.

Для обчислення тиску пари  $p$  можна використати рівняння Менделєєва-Клапейрона.

При зменшенні температури деякої маси повітря воно стає більш вологим, абсолютна вологість  $\varphi$  зростає і при температурі роси (точка роси) сягає максимуму, тобто 100%. У цей момент й випадає роса.

За низької температури відносна вологість повітря велика, а іноді сягає 100%. Тому стіни, підлога тощо у холодному приміщенні покриваються вологою, яка дуже повільно випаровується.

Для вимірювання вологості повітря використовують психрометр і гігрометр.

За деякої температури ненасичена пара перетворюється в насичену. Цю температуру називають **точкою роси**. Визначити точку роси можна **гігрометром**.

Вранці спостерігається мінімум добової температури повітря, а отже, реалізуються найбільш сприятливі умови для випадання роси. Туман — це крапельки води, що утворилися в результаті конденсації водяної пари під час зниження температури повітря.

На поверхні розділу рідини і її пари, двох рідин, що не змішуються, або рідини і твердого тіла виникає сила, зумовлена різною міжмолекулярною взаємодією межуючих середовищ (**сила поверхневого натягу**).

При приготуванні перших страв видно, що розплавлений жир знаходиться на поверхні води. Це пояснюється тим, що під дією сил поверхневого натягу жир зібрався б у кульки, але сила тяжіння сплющує їх у диски.

**Поверхневий натяг** визначається відношенням роботи, затраченої на утворення деякої поверхні рідини за сталої температури, до площі цієї поверхні  $\sigma = \frac{A}{S}$ .

*Сили поверхневого натягу дотичні до поверхні і прагнуть скоротити поверхневий шар рідини*

$$\sigma = \frac{F}{l}, \quad (16)$$

де  $F$  — сила поверхневого натягу,  $l$  — довжина контуру, що обмежує поверхню,  $\sigma$  — коефіцієнт поверхневого натягу. Коефіцієнт поверхневого натягу — це фізична величина, рівна відношенню сили поверхневого натягу до довжини контуру, що обмежує поверхню рідини.

Вимірюється **коефіцієнт поверхневого натягу** в СІ у Н/м. Із зростанням температури поверхневий натяг зменшується у зв'язку зі збільшенням середньої відстані між молекулами.

Результатом міжмолекулярної взаємодії у зоні контакту трьох фаз (середовищ) — рідкої, твердої і газоподібної, є змочування або незмочування. В елементарному вигляді **змочування** спостерігається тоді, коли сили притягання всередині рідини менші за сили притягання на межі тверде тіло — рідина, а під час незмочування — навпаки.

*Явищем незмочування можна пояснити той факт, що алюміній не вдається паяти олов'яним припоєм.*

*Завдяки змочуванню штукатурний розчин «прилипає» до цеглин стіни, а ізоляційні матеріали перешкоджають проникненню вологи до стін будівель.*

*Швачки знають, що мокре плаття стає вузким.*

*Кухарі добре знають, чому погано витираються мокрі руки шерстяною або шовковою тканиною.*

*У повсякденному житті можна спостерігати, що крапля води розпливається по чистій поверхні скла, але не розпливається по забрудненій жиром поверхні і має при цьому форму майже правильної кулі. У першому випадку говорять, що вода змочує поверхню, у другому — не змочує.*

*Викривлену поверхню рідини поблизу стінок посудини називають **меніском**.*

*Явища змочування і незмочування спостерігаються в побуті і техніці; якби вода не змочувала тіло людини, то марним було б купання. Добре змочування потрібне під час фарбування і прання, паяння, збагачення руд цінних порід та інших технічних процесів.*

*Явище змочування і незмочування виявляється у піднятті і опусканні рідини в тонких трубках (**капілярні явища**).*

*Паливо по капілярах потрапляє у двигун.*

*Якщо масляну фарбу нанести на штукатурку, то олія (оліфа) буде всмоктуватися у капіляри і замість блискучого шару міцної фарби одержимо шар порошку, що легко стирається. Якщо ж попередньо заґрунтуємо поверхню, то утвориться досить міцний блискучий шар фарби, що не розчиняється у воді.*

*Висота підняття рівня рідини в циліндричному капілярі:*

$$h = \frac{2\sigma}{r\gamma g} \quad (17)$$

де  $h$  — висота підняття рідини в циліндричному капілярі;  $\sigma$  — коефіцієнт поверхневого натягу рідини;  $\gamma$  — густина рідини;  $r$  — радіус капіляра;  $g$  — прискорення вільного падіння.

Якщо рідина не змочує капіляр, то рівень рідини в ньому буде нижчим від її рівня в посудині. Різниця цих рівнів, яку також позначають через  $h$ , має таку саму залежність від  $\sigma$ ,  $\gamma$  і  $r$ , як і у разі змочування.

Під дією сил поверхневого натягу поверхневий шар рідини викривлений і під кривою поверхнею (меніск) рідини сила поверхневого натягу створює **додатковий тиск** відносно зовнішнього:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}. \quad (18)$$

При опуклому меніску додатковий тиск спрямований всередину рідини і додається до зовнішнього тиску, а при вгнутому — навпаки.

*Капілярні явища проявляються в природі і техніці. Завдяки цим явищам відбувається проникнення вологи з ґрунту в стебла і листя рослин. Саме в капілярах відбуваються основні процеси, пов'язані з диханням і живленням організмів. У тілі дорослої людини приблизно  $160 \cdot 10^9$  капілярів, загальна довжина яких сягає 60—80 тис. км.*

*У будівництві враховують можливість підняття вологи по капілярних порах будівельних матеріалів. Для захисту фундаменту і стін від дії ґрунтових вод та вологи застосовують гідроізоляційні матеріали (толь, смоли тощо).*

*Завдяки капілярному підняттю вдається фарбувати тканини.*

*Часто капілярні явища використовують і в побуті. Застосування рушників, серветок, гігроскопічної вати, марлі, промокального паперу можливе завдяки наявності в них капілярів.*

Тверді тіла поділяються на кристалічні та аморфні. **Кристали** мають впорядковану структуру, вони **анізотропні**, тобто їх властивості (теплопровідність, електропровідність, твердість, міцність) різні у різних напрямках.

*Якщо розбити шматок скла, то осколки будуть мати неправильну форму, тому що скло — тіло аморфне. Якщо ж розбити шматок кухонної солі, осколки будуть правильної форми, бо це кристалічне тіло.*

Існують рідини, що виявляють анізотропні властивості, характерні для кристалів. Такі речовини називають **рідкими кристалами**.

До рідких кристалів належать багато органічних речовин біологічного походження, наприклад, дезоксирибонуклеїнова кислота, що містить код спадкової інформації, а також речовина мозку.

*На практиці рідкі кристали використовують в якості перетворювачів інфрачервоного зображення на видиме, в оптичних індикаторах (циферблат годинника тощо); в медицині рідкокристалічні термоіндикатори використовують для аналізу теплового випромінювання з різних ділянок тіла людини, що є діагностичним тестом.*

На основі зміни анізотропних властивостей рідких кристалів при незначних змінах температури, сили струму вони набули широкого застосування в сучасній електронній техніці, при виготовленні дисплеїв, обчислювальної техніки, електронних термометрів тощо.

**Термодинаміка** вивчає теплові явища в газах, рідинах, твердих тілах на основі перетворення теплової форми руху матерії в інші види енергії. У термодинаміці використовують спеціальну термінологію, а саме такі поняття, як внутрішня енергія тіла, термодинамічний процес, термодинамічна рівновага, ізольована система, зворотний (незворотний) процес тощо.

**Внутрішньою енергією**  $U$  тіла називають суму кінетичних енергій теплового руху частинок і потенціальної енергії їх взаємодії, а ідеального газу — суму кінетичних енергій теплового руху молекул.

*Частина енергії від двигуна автомобіля, витрачається на подолання опору повітря. При цьому вона перетворюється на внутрішню енергію повітря і автомобіля (тіла нагріваються внаслідок тертя).*

Внутрішня енергія ідеального газу залежить лише від температури та числа молекул і не залежить ні від об'єму, ні від тиску.

Зміна внутрішньої енергії ідеального газу в термодинамічному процесі визначається лише зміною його температури і не залежить від характеру цього процесу. Змінити внутрішню енергію можна двома способами: виконанням роботи (стисненням або розширенням газу), або шляхом теплообміну (нагріванням або охолодженням газу).

*Шляхом теплообміну кухарі змінюють внутрішню енергію страв (нагріванням, випаровуванням).*

*Якщо робота виконується тілом над зовнішніми тілами, то внутрішня енергія його зменшується, а якщо роботу виконують зовнішні сили — внутрішня енергія цього тіла зростає.*

*При недостатньому змащуванні робота сил тертя може бути такою великою, що внаслідок нагрівання плавляться підшипники.*

*Можливість зміни внутрішньої енергії тіл під час виконання роботи застосовують при зварюванні тертям (з'єднання частин валів, штоків тощо).*

*Зварники, застосовуючи термічну обробку, часто користуються наближеним способом визначення температури нагрітого металу за кольорами жару та кольорами мінливості.*

Зміна внутрішньої енергії тіл з різною температурою можлива при їх контакті — це **тепловий обмін**. Міру зміни внутрішньої енергії при теплообміні називають **кількістю теплоти**  $Q$ :

$$Q = \Delta U = U_2 - U_1. \quad (19)$$



Кількість тепла, необхідного для нагрівання тіла масою  $m$  від  $T_1$  до  $T_2$  можна знайти за формулою

$$Q = cm(T_2 - T_1). \quad (20)$$

Зміна внутрішньої енергії в термодинамічному процесі відбувається, коли над газом виконують роботу і він отримує деяку кількість тепла:

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}. \quad (21)$$

Робота додатна при розширенні, коли вона виконується системою проти зовнішніх сил, а при стисненні — від'ємна (роботу виконують зовнішні сили). Останнє рівняння є аналітичним виразом закону збереження енергії і називається **першим законом термодинаміки**: кількість тепла, наданого системі, йде для зміни його внутрішньої енергії і на виконання роботи.

Якщо термодинамічний процес відбувається в ізольованій системі, то внутрішня енергія змінюється лише шляхом теплообміну. В такій термодинамічній системі внутрішні енергії одних тіл збільшуються, а інших — зменшуються. Тоді закон збереження і перетворення енергії в системі записують у формі **рівняння теплового балансу**:

$$\sum_{i=1}^n Q_{\text{від}} = \sum_{j=1}^m Q_{\text{жопр}}. \quad (22)$$

*Кількість тепла, відданого тілами, внутрішня енергія яких зменшується, рівна кількості тепла, отриманого тілами, внутрішня енергія яких зростає.*

Нагрівання тіл може відбуватись різними способами: шляхом тертя, при хімічних реакціях тощо. З хімічних реакцій можна назвати реакцію горіння. При згоранні різних видів палива виділяється різна кількість тепла. Кількість тепла, яке виділяється при повному згоранні 1 кг палива, називають **питомою теплотою згорання** палива:

$$q = Q / m, \quad (23)$$

де  $q$  — питома теплота згорання палива.

При згоранні виділяється більше тепла, ніж можна використати.

Відношення кількості корисного тепла  $Q_{\text{кор}}$  до тепла  $Q$ , виділеного при повному згоранні палива, називається **коефіцієнтом корисної дії** нагрівача:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q} = \frac{cm_1 \Delta T}{mq}. \quad (24)$$

*К.к.д бензинового двигуна внутрішнього згорання приблизно 30%, а дизельного — 40%, оскільки дизельні працюють на дешевших сортах рідкого палива, мають простішу конструкцію.*

*Під час утилізації палив атмосфера також забруднюється попелом, азотистими та сірчаними сполуками, шкідливими для здоров'я людей. Особливо відчутне це забруднення у великих містах і промислових центрах. Більше половини всіх видів забруднення атмосфери створює транспорт. Крім оксиду вуглецю, викидаються в атмосферу 2—3 млн. т свинцю. Сполуки свинцю додають в автомобільний бензин для запобігання детонації палива в двигуні, тобто дуже швидкого згорання палива.*

*З метою зменшення таких викидів дедалі більше випускається автомобілів, у яких замість бензинових використовують дизельні двигуни, у паливо яких не додають сполук свинцю. Однак найбільш перспективними вважаються електромобілі і автомобілі, які працюють на водні. Продуктом згорання у водневому двигуні є звичайна вода.*

*Застосування теплових двигунів призводить до значного споживання кисню, який виробляється зеленими рослинами (10—25%), через що його кількість в повітрі постійно зменшується.*

*Застосування парових турбін на електростанціях потребує відведення великих площ під ставки, в яких охолоджується відпрацьована пара. Зі збільшенням потужностей електростанцій різко зростає потреба у воді.*

*Для економії площ і водних ресурсів споруджуються комплекси електростанцій, насамперед атомних, із замкненим циклом водопостачання.*

*Одним із заходів захисту довкілля є встановлення різного роду фільтрів як на теплових станціях, так і на автомобільних двигунах. Розробляються зразки газотурбінних, роторних і навіть парових двигунів.*

Термодинамічні процеси в природі відбуваються у певному напрямі, наприклад, процес теплообміну йде від більш нагрітих тіл до менш нагрітих, внутрішня енергія не може самовільно переходити в механічну, а лише з допомогою теплових машин.

У тепловій машині повинно бути робоче тіло, яке виконує механічну роботу, і нагрівник, від якого робоче тіло отримує енергію.

*У ракетному двигуні нагрівник — камера згорання, холодильник — зовнішнє середовище.*

Коефіцієнтом корисної дії теплової машини називають відношення роботи, виконаної газом за цикл до кількості тепла, отриманого від нагрівника:

$$\eta = \frac{A \cdot 100\%}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% . \quad (25)$$

ККД теплових машин не може дорівнювати 100% навіть якщо тертя у частинах машини звести до нуля. Низький ККД теплових машин пояснюється не стільки тертям в механізмах, скільки необхідністю відводити велику кількість теплоти в холодильник.

*Поширеним варіантом теплової машини є холодильник — пристрій для зниження температури у необхідному об'ємі (рис. 4)*

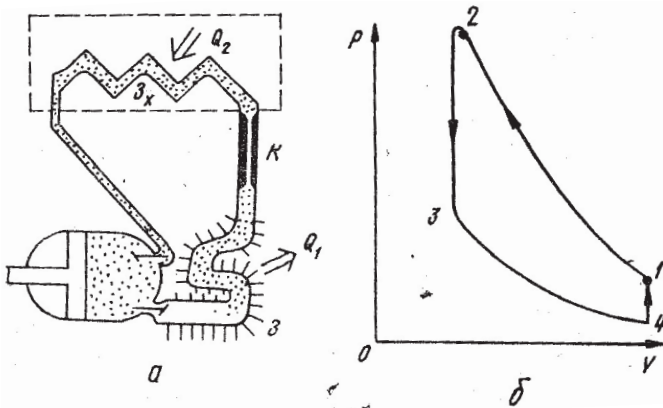


Рис. 4

Схему конструкції та принцип дії можна пояснити, використавши рисунок (рис. 4 а).

Замкненим шляхом рухається фреон або інша рідина, що легко зріджується. Електродвигун-компресор стискає газ (крива 1—2 на діаграмі циклу (рис. 4 б) і виштовхує його через клапан у змійовик-теплообмінник (3), де він охолоджується до кімнатної температури й віддає повітрю теплоту  $Q_1$ . У морозильну камеру фреон входить через довгий вузький капіляр К, адиабатно розширюючись з нього в об'єм звивистої трубки  $З_x$ , дуже охолоджується і частково зріджується. Нагріваючись у цій камері, фреон стає знову парою і виносить із неї кількість теплоти  $Q_2$ , охолоджуючи цим продукти. Надалі пара потрапляє у компресор і все повторюється спочатку.

Холодильник фактично є тепловою машиною, бо витягує назовні теплоту з об'єму морозильної камери.

Площа всередині його циклу пропорційна роботі  $A$ , виконаній електродвигуном і пов'язана з холодильним коефіцієнтом:

$$k = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} . \quad (26)$$

Цей коефіцієнт може перевищувати одиницю (100%), а максимальне його значення:

$$k_{\max} = T_2 / (T_1 - T_2) , \quad (27)$$

де  $T_2$  — температура фреону у морозильній камері,  $T_1$  — температура у змійовику зовнішнього теплообмінника, що відповідає використанню циклу Карно (з обходом у зворотному напрямі).

*Можливість виділяти в приміщення значно більшу кількість теплоти, ніж спожита від електромережі енергія, використовується у техніці. Формула для  $k_{\max}$  свідчить, що встановлення*

холодильника у вікні так, що його камерою стає вулиця, а теплообмінник звернутий у квартиру, перетворює його у теплову помпу з к.к.д у сотні відсотків (більша частина тепла відбирається від вулиці).

Неможливий такий періодичний процес, єдиним результатом якого було б перетворення внутрішньої енергії в механічну (**другий закон термодинаміки**).

### Основні формули

$N_m = \frac{N_A}{M}$	$N_m$ — число молекул в одиниці маси $N_A$ — стала Авогадро $M$ — молярна маса	$\text{кг}^{-1}$ $\text{моль}^{-1}$ $\text{кг/моль}$
$N_0 = \frac{N_A}{M} \rho$ $N_0 = \frac{N_A}{V_M}$	$N_0$ — число молекул в одиниці об'єму $V_M$ — молярний об'єм	$\text{м}^{-3}$ $\text{м}^3/\text{моль}$
$m_M = \frac{M}{N_A}$	$m_M$ — маса молекули	кг
$V_M = \frac{M}{N_A \rho}$	$V_M$ — об'єм молекули	$\text{м}^3$
$p = \frac{2}{3} N_0 \frac{mv^2}{2}$	$p$ — тиск	Па
$E_k = \frac{3}{2} kT$ рівняння Больцмана $pV = \frac{m}{M} RT$ рівняння Клапейрона-Менделєєва $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$ рівняння стану газу	$k$ — стала Больцмана $T$ — термодинамічна температура $R$ — газова стала	$\text{Дж/К}$ $\text{К}$ $\text{Дж/}$ $(\text{моль} \cdot \text{К})$
$p = p_1 + p_2 + \dots$ закон Дальтона	$p$ — тиск суміші газів $p_1 \dots$ — парціальний тиск	Па Па
$Q = cm(T_1 - T_2)$	$Q$ — кількість теплоти, що йде на нагрівання тіла або виділяється при його охолодженні $c$ — питома теплоємність	Дж $\text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
$Q_3 = qm$	$Q_3$ — кількість тепла, що виділяється при згорянні палива $q$ — питома теплота згорання	Дж $\text{Дж/кг}$
$\eta = \frac{Q_k}{Q_3}$	$\eta$ — коефіцієнт корисної дії $Q_k$ — корисно використане тепло $Q_3$ — затрачене тепло	% Дж Дж
$Q = rm$	$Q$ — кількість тепла, що витрачається на пароутворення або виділяється при конденсації $r$ — питома теплота пароутворення	Дж $\text{Дж/кг}$

$\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_n}$	$\varphi$ — відносна вологість повітря $\rho_a$ — абсолютна вологість повітря $\rho_n$ — густина насиченої пари	% кг/м <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>
$\sigma = \frac{F_n}{l}$	$\sigma$ — поверхневий натяг $F_n$ — сила поверхневого натягу $l$ — довжина контуру поверхневого шару	Н/м Н м
$h = \frac{2\sigma}{g\rho r}$	$h$ — висота підняття або опускання рідини у капілярній трубці $r$ — радіус капіляра	м м
$Q_{пл} = \lambda m$	$Q_{пл}$ — теплота, що витрачається на плавлення або виділяється при кристалізації $\lambda$ — питома теплота плавлення	Дж Дж/кг
$\sigma = \frac{F}{S}$	$\sigma$ — механічна напруга $S$ — площа перерізу деформованого тіла	Па м <sup>2</sup>
$\sigma = k\varepsilon$ $\sigma_n = E \frac{\Delta l}{l}$ закон Гука $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$	$k$ — модуль пружності $\sigma_n$ — механічна напруга при розширенні або стисненні $\varepsilon$ — відносна деформація $\Delta l$ — абсолютна деформація $l$ — початкова довжина	Па Па м м
$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 \Delta T}$ $l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$	$\alpha$ — коефіцієнт лінійного розширення $l_0$ — початкова довжина тіла $l$ — довжина тіла за будь-якої температури $\Delta T$ — зміна температури	К <sup>-1</sup> м м К
$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 \Delta T}$ $V = V_0(1 + \beta \Delta T)$	$\beta$ — коефіцієнт об'ємного розширення $V_0$ — початковий об'єм тіла при 273 К $V$ — об'єм за будь-якої температури	К <sup>-1</sup> м <sup>3</sup> м <sup>3</sup>

### Якісні задачі

1. Який вітер, зимовий чи літній, за однієї і тієї самої швидкості має більшу потужність?
2. Коли авто більше використовує пального: при русі без зупинок, чи з зупинками?
3. Чому зовнішні частини надзвукових літаків необхідно охолоджувати за допомогою спеціальних апаратів?
4. Чому можна невелику скляну паличку, нагріту з одного кінця, тримати за другий кінець, не обпікаючи пальці, а залізний прут не можна?
5. При якій температурі метал і дерево будуть здаватись на дотик однаково нагрітими?
6. Який ґрунт прогрівається сонцем швидше: вологий чи сухий?
7. Чому людина не відчуває прохолоди на повітрі при температурі 25° С, а у воді мерзне при температурі 25° С?
8. Чому віконні скла починають замерзати знизу швидше і більшою мірою, ніж зверху?
9. Коли швидше охолоне чайник з кип'яченою водою, коли його поставили на лід, чи коли лід покласти на покритку чайника?
10. Чому найвища температура повітря не в полудень, а після полудня?
11. Земля безперервно випромінює енергію у космічний простір. Чому ж вона не замерзає?

12. Якщо опустити одну руку в холодну воду, а другу в теплу, потім, вийнявши їх, опустити обидві у воду, яка має помірну температуру, то рука, що була у холодній воді, буде відчувати тепло, а яка була у теплій — холод. Як пояснити це?
13. Клімат островів помірніший і рівніший, ніж клімат великих материків. Чому?
14. Чому порох невідгодно використовувати як паливо, а бензином неможливо замінити порох в артилерійських установках?
15. Стальна кулька рівномірно падає у олії. Чи виконується при цьому робота? Які перетворення енергії відбуваються при цьому?
16. Як найпростіше визначити, яке із двох тіл більш тверде?
17. Чому лід з морської соленої води сам у подальшому стає майже зовсім прісним?
18. Чим пояснити, що на початку осені у ріках і озерах вода не замерзає, не дивлячись на те, що температура повітря на декілька градусів нижча від нуля?
19. Чи розплавиться уламок льоду, який має температуру  $0^{\circ}\text{C}$ , якщо його покласти у посуд з водою при  $0^{\circ}\text{C}$ ? Атмосферний тиск нормальний?
20. Як впливає велика питома теплота плавлення льоду на швидкість весняного танення снігу і вологість ґрунту?
21. Якщо закриту пляшку з водою виставити на мороз, то вода, замерзаючи, розриває пляшку. Чи безпечно у такому разі ставити закриту пляшку з водою у лід, що топиться при  $0^{\circ}\text{C}$ ?
22. Чи збережеться з бігом часу рівновага, якщо на одну чашку терезів поставити тарілку з гарячою водою, а на другу — гирі, що її врівноважують?
23. Чому у сухому повітрі людина може витримати температуру навіть вищу від  $100^{\circ}\text{C}$ ?
24. Чому поки рідина не кипить, бульбашки пари, що утворюється біля гарячого дна посудини, піднімаючись вгору, знову зменшуються і зникають?
25. У киплячу воду можна спокійно налити олію, а якщо у киплячу олію капати воду, то вона розбризкується. Чому?
26. Чому кипіння води у металевій посудині припиняється водночас із зняттям її з вогню, а у глиняній посудині кипіння продовжується ще деякий час?

### **Методичні рекомендації**

#### **Як розуміють учні молекулярно-кінетичну теорію?**

Відповідь переважно така: усі тіла складаються з молекул і молекули перебувають у стані хаотичного теплового руху.

Ця відповідь лаконічна, але неповна. Назвемо основні положення молекулярно-кінетичної теорії:

- речовина має «зернисту структуру», яка складається з молекул чи атомів. В одному молі речовини міститься  $6 \cdot 10^{23}$  молекул, незалежно від агрегатного стану речовини (число Авогадро);
- молекули у речовині перебувають у неперервному хаотичному русі;
- характер теплового руху молекул залежить від характеру взаємодії молекул і змінюється при переході речовини з одного агрегатного стану у інший;
- інтенсивність теплового руху молекул залежить від ступеня нагрятості тіла, яка характеризується температурою. У теорії доведено, що середня енергія окремої молекули пропорційна температурі.

З точки зору молекулярно-кінетичної теорії, повна енергія тіла є сумою кінетичної енергії тіла як цілого, потенціальної енергії тіла як цілого у деякому зовнішньому полі, енергії, пов'язаної з тепловим рухом молекул.

Енергію називають внутрішньою енергією тіла. Врахування внутрішньої енергії при розгляді різних енергетичних балансів є характерною рисою молекулярно-кінетичної теорії.

#### **Чим відрізняється характер теплового руху молекул речовини у різних агрегатних станах?**

У газах молекули в середньому перебувають на таких великих відстанях одна від одної, що їх взаємодії можна не враховувати. Кожна з молекул рухається незалежно від інших, зазнаючи відносно рідко зіткнень. Кожна молекула приймає участь у поступальному, обертальному та коливному рухах. Якщо молекула одноатомна, то присутній лише поступальний рух.

У кристалах молекули знаходяться так близько одна до одної, що усі разом утворюють єдину взаємозв'язану систему. В цьому випадку кожна молекула здійснює коливання в загальному силовому полі, зумовленому взаємодією усього колективу молекул. Для кристалу характерне існування просторової упорядкованої структури — кристалічної решітки. Вузли кристалічної решітки являють собою положення рівноваги окремих молекул. Біля цих положень й здійснюють молекули свої складні коливальні рухи. У деяких випадках молекули при утворенні кристалу продовжують, певною мірою, зберігати свою індивідуальність, і тоді необхідно розрізняти коливання молекул у полі кристалу і коливання атомів всередині окремих молекул. Таке явище має місце, якщо енергія зв'язку атомів всередині молекули значно вища за енергію зв'язку самих молекул у кристалічній решітці. Однак у більшості випадків молекули при утворенні кристалу не зберігають свою індивідуальність, тому кристал виявляється збудованим не з окремих молекул, а з окремих атомів.

Характер теплових рухів у рідині найбільш складний і заплутаний. Рідині властива, поряд із інтенсивною взаємодією між частинками, значна неупорядкованість структури. Можна сказати, що у рідині молекули зберігають свою індивідуальність. Для неї властиве існування самих різних типів рухів, а саме: переміщення молекул, їх обертання, коливання атомів всередині окремих молекул, коливання молекул у полі сусідніх молекул. Усі ці типи рухів не можна розглядати окремо; існує сильний взаємний вплив молекул.

Наприклад, можна розглядати, що молекула деякий час коливається у полі сусідів, потім здійснює стрибок, переходить в інше оточення, коливається в цьому новому оточенні, потім знову здійснює стрибок і т.д.

Розглядають ще іншу модель, згідно з якою молекула коливається в оточенні своїх сусідів, а саме це оточення плавно переміщується у просторі (пливе) і при цьому поступово деформується.

За структурою рідина ближча до кристалу.

Підтвердженням положень молекулярно-кінетичної теорії є броунівський рух.

Учні говорять, що «броунівський рух — це тепловий рух молекул» — це неправильно.

**Броунівський рух** — це рух окремих частинок речовини під впливом ударів молекул середовища, які здійснюють тепловий рух. Ці частинки самі є макротілами. Внаслідок не скомпенсованих ударів молекул броунівські частинки здійснюють хаотичні рухи і саме тому переміщуються у середовищі, в якості якого використовують будь-яку рідину.

Добрим обґрунтуванням молекулярно-кінетичної теорії є її успішне використання для пояснення цілого ряду фізичних явищ, наприклад, тиску газу на стінки посудини.

*На основі молекулярно-кінетичної теорії пояснюються явища випаровування і кипіння рідини.*

Учні правильно пояснюють, що випаровування відбувається внаслідок того, що найбільш швидкі молекули рідини долають притягання зі сторони інших молекул і вилітають з неї.

Це процес двобічний: поряд з виходом частини молекул з рідини має місце часткове повернення молекул назад у рідину. Інтенсивнішим буде випаровування, якщо процес виходу молекул з рідини переважає над зворотним процесом. Нагрівання рідини і збільшення її поверхні підсилює процес випаровування. Якщо процеси виходу молекул з рідини і їх повернення в рідину компенсуються, то настає стан **динамічної рівноваги**, пара над поверхнею рідини стає насиченою.

Учні неправильно тлумачать процес кипіння, іноді кажуть, що це процес випаровування, який відбувається більш інтенсивно.

При нагріванні рідини зменшується розчинність газів, які містяться у ній, внаслідок чого всередині рідини виникають бульбашки газу. У ці бульбашки відбувається випаровування; вони наповнюються насиченою парою, тиск якої із зростанням температури збільшується. За деякої температури тиск насиченої пари всередині бульбашок стає рівним тиску на них зовні (цей тиск рівний сумі атмосферного тиску і тиску, який чинить шар води). З цього моменту бульбашки рухаються вгору і рідина кипить. Таким чином кипіння суттєво відрізняється від випаровування.

*Кипіння відбувається лише при певній температурі — температурі кипіння, яка залежить від зовнішнього тиску.*



**Наприклад, таке питання: у колбі міститься невелика кількість води при кімнатній температурі. За допомогою помпи відкачуємо повітря, яке є у колбі над водою. Що відбувається з водою?**

При відкачуванні повітря буде зменшуватись тиск над водою у колбі. Із зменшенням тиску знижуватиметься температура кипіння води. Коли ця температура зменшиться до кімнатної, вода у колбі закипить.

**А чи може вода, навпаки, замерзнути?**

За умови швидкого відкачування вода може замерзнути внаслідок відкачування повітря і разом з ним пари води, що сприяє підсиленню процесу випаровування. Оскільки при випаровуванні воду залишають молекули з високою енергією, то це веде до її охолодження.

У випадку повільного відкачування охолодження води компенсується надходженням тепла ззовні, в результаті температура води залишається попередньою. У випадку швидкого відкачування охолодження води не встигає компенсуватись надходженням тепла ззовні, внаслідок чого температура починає понижуватись. Як тільки температура води почала понижуватись, можливість закипання також зменшувалась. Продовження швидкого відкачування повітря з колби приводить до зниження температури води до точки тверднення і наступного перетворення залишку води у лід.

**Розглянемо задачу: 16 г кисню при тиску  $2,02 \cdot 10^5$  Па займає об'єм 5л. Як змінилась температура газу, якщо відомо, що при збільшенні тиску до  $5,05 \cdot 10^5$  Па його об'єм зменшився на 1л?**

Знаючи масу кисню, його тиск і об'єм, можна одразу знайти його температуру. 16 г кисню — це 0,5 моля, тобто об'єм 11,2 л за нормальних умов. Далі знаходимо, що

$$T_1 = T_n \frac{P_1 V_1}{P_n V_n} = 273 \cdot \frac{2 \cdot 5}{1 \cdot 11,2} = 244 \text{ К.}$$

Знаючи температуру  $T_1$  вихідного стану газу, знаходимо температуру  $T_2$  кінцевого стану:

$$T_2 = T_1 \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = 244 \cdot \frac{5 \cdot 4}{2 \cdot 5} = 488 \text{ К.}$$

Порівнюючи температури  $T_2$  і  $T_1$ , бачимо, що температура газу підвищилась на 244 К.

**Задача 2. Газ знаходиться у посудині об'ємом  $V$  при тиску  $p_0$ . Його відкачують з посудини за допомогою помпи з робочою камерою об'ємом  $v$ .**

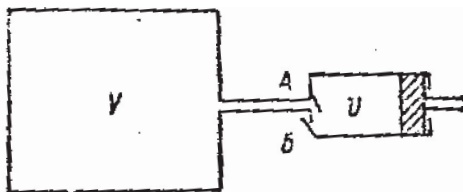


Рис. 5

**Знайти кількість ходів поршня  $n$ , які необхідно зробити, щоб тиск газу у посудині понизився до  $p_n$ .**

Учень каже, що ця задача дуже проста.  $n$  ходів поршня приводить до  $n$ -разового збільшення об'єму газу на значення  $v$ . Тому використаємо рівняння Бойля-Маріотта у вигляді

$$p_0 V = p_n (V + nv).$$

Звідси знаходимо число ходів  $n$ . Проте це неправильно, тому що постає питання, до якої маси відноситься написане рівняння.

Після першого ходу поршня частина маси виходить із системи. Вказане учнем  $n$ -кратне збільшення об'єму газу на величину  $v$  не відноситься до однієї і тої самої маси. Тому написане рівняння не буде правильним.

Необхідно розглянути кожен із ходів поршня окремо. Починаємо з першого ходу. Для маси газу, яка міститься у посудині на початку, можна записати:

$$p_0 V = p_1 (V + v),$$

де  $p_1$  — тиск газу після того, як поршень, закінчуючи робочий хід, зайняв крайнє положення (витягнутий). Потім поршень повертається у вихідне положення. При цьому клапан закривається і у посудині залишається маса газу, порівняно менша з початковою масою, її тиск буде  $p_1$ . Для цієї маси газу можна написати рівняння

$$p_1 V = p_2 (V + v),$$

де  $p_2$  — тиск газу після закінчення другого робочого ходу поршня. Розглядаючи послідовно третій, четвертий і наступні ходи поршня, отримаємо систему  $n$  рівнянь закону Бойля-Маріотта:

$$p_0 V = p_1 (V + v),$$

$$p_1 V = p_2 (V + v),$$

$$p_2 V = p_3 (V + v),$$

$$\dots\dots\dots$$

$$p_{n-1} V = p_n (V + v).$$

Кожне з цих рівнянь відноситься до певної маси газу. Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримуємо:

$$p_n = p_0 [V / (V + v)]^n.$$

Логарифмуючи цей результат, знаходимо:

$$n = \frac{\lg(p_n / p_0)}{\lg[V / (V + v)]}.$$

### **Як відбувається процес енергообміну газу із навколишнім середовищем при різних процесах?**

Припустимо, що газ розширюється. Внаслідок цього він буде відсувати тіла, які обмежують його об'єм (наприклад, переміщувати поршень у посудині). Отже, газ виконує роботу над тілами. Як визначиться ця робота, припустимо, для ізобарного процесу. Допустимо, що газ перемістить поршень площею перерізу  $S$  на відстань  $\Delta l$ . Тиск газу на поршень становить  $p$ . Тоді робота, виконана газом над поршнем буде:

$$A = F \Delta l = p S \Delta l = p (S \Delta l) = p (V_2 - V_1),$$

де  $V_2$  і  $V_1$  — кінцевий і початковий об'єми газу.

Якщо процес не ізобаричний, то робота обчислюється складніше (в процесі розширення газу сила тиску змінюється). Робота, яку виконує газ при збільшенні його об'єму від  $V_1$  до  $V_2$ , дорівнює площі під графіком в координатах  $p$ - $V$  розглянутого процесу між ординатами  $V_1$  і  $V_2$ . По-різному площа виражає роботу, виконану газом, відповідно при ізобаричному і ізотермічному розширенні від об'єму  $V_1$  до  $V_2$  (вихідні стани газу в обох випадках однакові). Отже, при розширенні газу робота над тілами у середовищі виконується за рахунок частини його внутрішньої енергії і залежить від характеру процесу розширення. Відзначимо, що при стисненні газу, коли робота виконується зовнішніми силами, внутрішня енергія його збільшується.

Однак виконання роботи не єдиний спосіб обміну енергією газу із середовищем. Наприклад, при ізотермічному розширенні газ виконує роботу  $A$  і при цьому втрачає енергію, рівну теж  $A$ . Але при ізотермічному процесі температура стала, а отже, й внутрішня енергія повинна бути незмінною. Тоді запитуємо учня, за рахунок чого виконується робота. Він відповідає, що робота виконується за рахунок тепла, що надходить до газу ззовні. Це вірно.

Таким чином, газ обмінюється енергією із середовищем двома шляхами — через виконання роботи і передачу тепла. Цей енергетичний баланс виражається першим законом термодинаміки:  $\Delta U = Q - A$ .

В учня виникає запитання: якщо при ізотермічному процесі вся отримана газом теплота йде на виконання роботи, то виходить, що у теплоізолюваній системі не можуть відбуватися ізотермічні процеси. Це вірно.

**Як відбувається ізобарне розширення газу з енергетичної точки зору?** Газ, розширюючись, виконує роботу. Температура його підвищується (збільшується внутрішня енергія). Отже, тепло, отримане газом, йде на приріст внутрішньої енергії і на виконання газом роботи.

З'ясуємо ще питання, чи однакову кількість тепла необхідно затратити на нагрівання газу один раз за сталого об'єму, а другий — за сталого тиску.

Учень відповідає, що потрібна однакова кількість тепла. Це невірно.

За сталого об'єму робота не виконується і все тепло йде на приріст внутрішньої енергії (на підвищення температури). Тоді  $Q_1 = c_v \Delta T$ , де  $c_v$  — питома теплоємність. За сталого тиску нагрівання газу зумовлює розширення і тоді виконується робота  $A = p(V - V_1)$ . Тому отримане газом тепло йде на приріст внутрішньої енергії і на виконання роботи:  $Q_2 = c_p \Delta T + p(V - V_1)$

Бачимо, що  $Q_1 < Q_2$ .

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Стовпчик ртутного барометра знижується з прискоренням  $a = 2 \text{ м/с}^2$ . Атмосферний тиск дорівнює  $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$

**I рівень.** Визначити атмосферний тиск у паскалях.

**II рівень.** Якою буде висота стовпчика ртуті у барометрі при його прискореному падінні?

**III рівень.** Яка висота стовпчика ртуті у барометрі, що буде підніматися з таким самим прискоренням?

*Розв'язання*

$$\begin{aligned} a &= 2 \text{ м/с}^2 \\ p &= 760 \text{ мм рт. ст.} \\ \rho &= 13600 \text{ кг/м}^3 \\ g &= 9,8 \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

I	$p$ — ? (Па)
II	$h_1$ — ?
III	$h_2$ — ?

**I рівень.** При рівномірному розподілі сили  $F$  по поверхні площею  $S$  тиск визначається за формулою:

$$p = F / S .$$

Приймаючи  $F = 1 \text{ Н}$  і  $S = 1 \text{ м}^2$ , одержуємо одиницю тиску  $[p] = 1 \text{ Н/м}^2$ , яка називається паскаль (скорочено — Па). Для визначення тиску за висотою стовпчика рідини використовують співвідношення  $p = \rho gh$ , де  $\rho$  — густина рідини,  $h$  — висота стовпчика рідини.

Тиск ртутного стовпчика висотою 1 мм:

$$p = \rho gh = 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,001 = 133 \text{ Н/м}^2 = 133 \text{ Па}.$$

Перевіряємо одиницю вимірювання:

$$[p] = \text{кг/м}^3 \cdot \text{м/с}^2 \cdot \text{м} = (\text{кг} \cdot \text{м/с}^2) / \text{м}^2 = \text{Н/м}^2 = \text{Па}.$$

Отже, 1 мм рт. ст. = 133 Па, тому при  $h = 760 \text{ мм рт. ст.}$

$$p = 760 \cdot 133 \text{ Па} = 101080 \text{ Па} = 0,01 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

**Відповідь:**  $p = 0,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**II рівень.** На рисунку зображена модель ртутного барометра (дослід Торрічеллі). Ртуть у системі перебуває у рівновазі, оскільки сила  $F_{am}$ , що діє на неї з боку атмосфери, врівноважується на рівні  $AA$  силою тяжіння  $F_{pm}$  ртутного стовпчика:

$$F_{am} = F_{pm}, \text{ при цьому } F_{pm} = mg, \text{ де } m — \text{маса ртуті}$$

Записуємо другий закон Ньютона для стовпчика ртуті при прискореному русі барометра:

$$m\vec{g} + F = m\vec{a} . \quad (1)$$

Спрямовуємо вісь  $Y$  в напрямі руху барометра (вниз), тоді у проекції на цю вісь маємо:

$$mg - F_{am} = ma , \quad (2)$$

звідки  $F_{am} = mg - ma = m(g - a)$ , де  $m = \rho V = \rho h_1 S$ ,  $V$  — об'єм ртутного стовпчика,  $h_1$  — його висота під час падіння барометра,  $S$  — поперечний переріз трубки.

Отже,

$$F_{am} = \rho Sh_1(g - a) ,$$

і тому тиск буде:

$$p = F_{am} / S = \rho(g - a)h_1 . \quad (3)$$

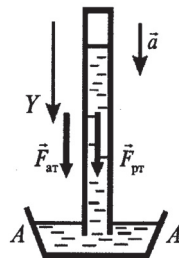
Звідси виходить, що

$$h_1 = p / [\rho(g - a)] \quad (4)$$

Підставляючи в (4) числові значення і враховуючи, що 1 мм рт. ст. = 133 Па (розв'язок I рівня), одержуємо:

$$h_1 = 760 \cdot 133 / (13600 \cdot (9,8 - 2)) = 0,923 \text{ м} = 923 \text{ мм}.$$

**Відповідь:**  $h_1 = 923 \text{ мм}$ .



**III рівень.** Для випадку піднімання барометра справедливим залишається рівняння (1). Вісь  $Y$  у цьому випадку доцільніше спрямувати вгору (тобто також в напрямі руху барометра), тоді (2) набуває вигляду:  $-mg + F_{am} = ma$ . Звідси  $F_{am} = m(g + a)$ .

Отже,  $p = \rho(g + a)h_2$ , звідки  $h_2 = p / (\rho(g + a))$ .

Обчислюємо:  $h_2 = 760 \cdot 133 / (13600 \cdot (9,8 + 2)) = 0,630 \text{ м} = 630 \text{ мм}$ .

**Відповідь:**  $h_2 = 630 \text{ мм}$ .

**Задача 2.** З простору між стінками термоса викачують повітря, створюючи тиск 13,3 мПа. Скільки молекул газу при цьому залишається в 1 м<sup>3</sup> при температурі 273 К?

**Розв'язання**

$$p = 13,3 \text{ мПа} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$$

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$n = ?$$

Число молекул повітря у тілі масою  $m$ :

$$\text{дорівнює } N = \frac{m}{M} N_A, (1)$$

де  $N_A$  — стала Авогадро;  $M$  — молярна.

маса. Використаємо рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT (2).$$

Пов'язуючи рівняння (1) і (2), одержимо:

$$N = \frac{pV}{RT} N_A. (3)$$

Враховуючи, що  $n = \frac{N}{V}$ , одержимо:

$$n = \frac{p}{RT} N_A \quad (4)$$

Підставляючи числові значення у рівняння (4), отримаємо:

$$n = \frac{13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 273} = 0,035 \cdot 10^{20} = 3,5 \cdot 10^{18} (\text{м}^{-3});$$

$$[n] = \frac{\frac{\text{Па} \cdot \text{моль}^{-1}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} = \frac{\text{Па}}{\text{Дж}} = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3}} = \frac{1}{\text{м}^3} = \text{м}^{-3}.$$

**Відповідь:**  $n = 3,5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$ .

**Задача 3.** Балон для газового зварювання місткістю 20 л був заповнений киснем при температурі 15°C. Коли частину кисню витратили, тиск у балоні знизився на 506,5 кПа. Скільки кисню було витрачено?

**Розв'язання**

$$V = 20 \text{ л} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t = 15^\circ\text{C}, T = 288 \text{ К}$$

$$\Delta p = 506,5 \text{ кПа} = 506,5 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$M_{O_2} = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta m = ?$$

Використаємо закон Менделєєва-Клапейрона для двох випадків:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT; m_1 = \frac{p_1 V M}{RT};$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{M} RT; m_2 = \frac{p_2 V M}{RT};$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{VM}{RT} (p_1 - p_2) = \frac{VM}{RT} \Delta p.$$

Підставляємо у це рівняння числові значення величин:

$$\Delta m = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 288} \cdot 506,5 \cdot 10^3 = 135 \cdot 10^{-3} = 0,135 (\text{кг}).$$

Перевіримо розмірність отриманої величини:

$$[\Delta m] = \frac{\frac{\text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}} \cdot \text{Па} = \frac{\text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{Па}}{\text{Дж}} = \frac{\text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \text{кг}.$$

**Відповідь:**  $\Delta p = 0,135$  .

**Задача 4.** Тиск повітря, що міститься в камері зі сталим об'ємом  $V$ , дорівнює половині атмосферного. Скільки ходів треба зробити поршню помпи, щоб накачати в камеру повітря до тиску  $p$ , якщо ємність помпи  $V_0$ , а атмосферний тиск  $p_0$ ? Нагріванням повітря знехтувати.

**Розв'язання**

$V = \text{const}$

За один хід поршня в камеру нагнітається помпою з навколишнього простору певна маса повітря.

Кількість ходів поршня  $n = \frac{m}{m_0}$ , де  $m$  — маса повітря, яке потрібно напompувати в камеру,  $m_0$  — маса повітря, що її набирає помпа під час кожного ходу поршня. Маса  $m = m_2 - m_1$ , де  $m_1$  і  $m_2$  — маси повітря в камері до помпування і після нього.

Застосуємо рівняння Менделєєва-Клапейрона:

а) для повітря, що міститься в камері до помпування:

$$\frac{1}{2} p_0 V = \frac{m_1}{M} RT;$$

б) для повітря, що буде в камері після помпування:

$$pV = \frac{m_2}{M} RT;$$

в) для повітря, що напompоване з атмосфери з кожним ходом поршня:

$$p_0 V_0 = \frac{m_0}{M} RT.$$

Оскільки  $n = \frac{m_2 - m_1}{m_0}$ , то підставивши значення мас газу з рівнянь газового стану, отримаємо:

$$n = \frac{\frac{pVM}{RT} - \frac{p_0VM}{2RT}}{\frac{p_0V_0M}{RT}} = \frac{V(2p - p_0)}{2p_0V_0}.$$

**Задача 5.** Сучасний вантажний автомобіль має двигун потужністю 155 кВт. Визначити витрати пального на 1 км шляху, якщо при швидкості руху 80 км/год він розвиває повну потужність. Ккд двигуна 30%. Теплота згорання пального  $4,27 \cdot 10^7$  Дж/кг.

**Розв'язання**

$N = 155 \text{ кВт} = 155 \cdot 10^3 \text{ Вт}$   
 $s = 1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$   
 $v = 80 \text{ км/год} = 22,2 \text{ м/с}$   
 $\eta = 30\% = 0,3$   
 $q = 4,27 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$

Ккд двигуна:

$$\eta = \frac{A_k}{A_3} 100\% . \quad (1)$$

Корисна робота визначається:

$$A_k = Fs ,$$

а враховуючи, що  $N = Fv$ , маємо

$$A_k = \frac{Ns}{v} \quad (2)$$

Затрачена робота рівна:

$$A_z = qm. \quad (3)$$

Підставляючи (2) і (3) у рівняння (1), отримаємо:

$$\eta = \frac{Ns}{\nu qm},$$

звідки знаходимо витрати пального:

$$m = \frac{Ns}{\eta \nu q} \quad (4).$$

$$m = \frac{155 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 22,2 \cdot 4,27 \cdot 10^7} = 5,45 \cdot 10^{-1} = 0,545 \text{ (кг)}.$$

$$[m] = \frac{\frac{Вт \cdot м}{с} \cdot \frac{Дж}{кг}}{\frac{Дж}{с \cdot кг}} = \frac{\frac{Дж}{с}}{\frac{Дж}{с \cdot кг}} = кг.$$

**Відповідь:**  $m = 0,545 \text{ кг}$ .

### **Задачі для самостійного розв'язування**

1. Скільки молекул міститься в  $5 \text{ см}^3$  газу за нормальних умов ( $T_d = 273 \text{ К}$ ,  $P_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ )?
2. За деякої температури газ перебуває під тиском  $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . На скільки градусів підвищилась температура газу за сталого об'єму, якщо його тиск став  $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ?
3. Об'єм повітря у кімнаті  $100 \text{ м}^3$ . Яка маса повітря вийде з кімнати при підвищенні температури від  $283$  до  $298 \text{ К}$ , якщо атмосферний тиск  $1,02 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ?
4. Знайти густину суміші, яка складається із  $4 \text{ г}$  водню і  $32 \text{ г}$  кисню при температурі  $7^\circ \text{ С}$  і тиску  $9,3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .
5. Використавши основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії, доведіть, що число частинок, які знаходяться в однакових об'ємах за однакового тиску і температури, для різних газів стало (закон Авогадро).
6. Яку кількість тепла необхідно витратити, щоб довести до кипіння  $2 \text{ кг}$  води, температура якої  $283 \text{ К}$ , в посуді з алюмінію масою  $0,3 \text{ кг}$ ?
7. Змішали  $24 \text{ л}$  води при температурі  $12^\circ \text{ С}$  і  $40 \text{ л}$  води при температурі  $80^\circ \text{ С}$ . Знайти температуру суміші, якщо теплові втрати рівні  $4,2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ .
8. Скільки необхідно спалити вугілля з теплотворною здатністю  $3,1 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ , щоб  $100 \text{ кг}$  води, яка має температуру  $303^\circ \text{ К}$ , нагріти до  $373^\circ \text{ К}$ ? К.к.д нагрівника  $60\%$ .
9. Під дією сили  $100 \text{ Н}$  дріт довжиною  $5 \text{ м}$  і площею поперечного перерізу  $2,5 \text{ мм}^2$  видовжився на  $1 \text{ мм}$ . Знайти механічну напругу і модуль Юнга.
10. У калориметр, який містить  $0,8 \text{ л}$  води при  $15^\circ \text{ С}$ , вливають  $0,2 \text{ кг}$  рідкого свинцю при температурі  $327^\circ \text{ С}$ . Внаслідок цього вода масою  $1 \text{ г}$  перетворилась у пару. Знайти температуру води у калориметрі.



## ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

### *Теоретичні положення, основні формули*

Вивчення електричних явищ передбачає формування в учнів практичних вмінь і навичок зі складання електричних кіл, включення вимірювальних приладів, вимірювання сили струму і напруги, теплової віддачі електричних нагрівачів тощо.

Важливе значення має оптимальне співвідношення теорії і експерименту, яке відповідає тиме рівню попередньої підготовки учня, запасу знань і вмінь, якими він володіє.

Електростатичні явища вивчають шляхом демонстрації електризації тіл. Тут необхідно наголосити, що електризуються усі тіла: і діелектрики, і провідники. Наелектризовані тіла проявляють свої властивості відносно інших тіл. Електричний заряд завжди зв'язаний з яким-небудь тілом (частинкою) і не може існувати сам по собі, тому що він характеризує певні властивості частинок (або тіл), а саме властивість взаємодіяти певним чином один з одним через електричні поля. **Електричним зарядом** називають фізичну величину, яка характеризує властивість тіл або частинок матерії вступати у електромагнітну взаємодію і визначає сили і енергію при таких взаємодіях.

*Електричні заряди електрона, позитрона, протона, антипротона називають елементарними зарядами. У електрично нейтральному тілі міститься однакова кількість елементарних зарядів протилежних знаків. Електричний заряд зарядженого тіла дорівнює цілому числу елементарних зарядів.*

*Синтетичні тканини при терті електризуються, між ними пролітають іскри. Нитки прями на текстильних фабриках електризуються, притягуються до веретен та роликів і рвуться. Пряжа притягується і забруднюється. Доводиться вживати спеціальних заходів проти електризації ниток (зокрема, збільшувати вологість).*

*При переливанні бензину із однієї цистерни в іншу він може спалахнути, якщо не вжити певних застережень. Це відбувається внаслідок електризації, що призводить до виникнення іскри.*

У процесі електризації на одному і тому самому тілі внаслідок натирання різними матеріалами можуть з'являтися заряди різних знаків.

Між наелектризованими тілами виникає взаємодія, в тому числі й на відстані. Тіла взаємодіють і у вакуумі. Це говорить про те, що **навколо заряджених тіл існує електричне поле, яке й діє на інше заряджене тіло. Напрямок сил, діючих в електричному полі, залежить від знаку заряду тіла, навколо якого існує поле, а їх величина — від відстані точки до зарядженого тіла. Електричне поле пов'язане з електричним зарядом, без заряду електричне поле не існує.**

Дія електричного поля передається не миттєво, а зі швидкістю 300000 км/с у вакуумі. Електричне поле має енергію, що можна продемонструвати на дослідах.

Заряд будь-якого тіла може приймати лише дискретні значення, кратні заряду електрона, який несе елементарний електричний заряд. Маса електрона дуже мала —  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Електричний заряд невіддільний від електрона, його неможливо «зняти» з електрона.

***Як можна уявити електростатичне поле і як його описати?***

Електростатичне поле невидиме, але його виявити можна за допомогою приладів. Воно є передавачем взаємодії між тілами, наприклад, між нерухомими електричними зарядами. Кожен заряд створює своє електричне поле, яке діє на інший заряд в цьому полі і навпаки. Це кулонівська взаємодія зарядів

***Чому один заряд не може безпосередньо діяти на другий?***

Припустимо, що перший заряд зрушився, тому внаслідок безпосередньої взаємодії в ту саму мить повинен зреагувати другий. Але це суперечить теорії відносності. Якою б великою не була швидкість, все одно вона має кінцеве значення, і відповідно існує певний проміжок часу, протягом якого зрушення першого заряду закінчилось, а другого ще не почалось. Протягом цього проміжку лише поле може містити сигнал про зрушення.

Чіткого визначення поля, якого іноді вимагають учні, неможливо дати так само, як не можна сказати, що таке речовина, але речовину можна відчувати на дотик, смак, нюх, слух або побачити.

Якщо ж говорити про поле, то для чіткого визначення необхідно відштовхнутись від більш первинних понять, яких для цього випадку не існує. Тому «речовина» і «поле» є поняттями первинними і дати чітке визначення їх, на кшталт: «... це фізична величина...» — неможливо. Зрозуміло, що можна дати деяке визначення, але воно не буде вичерпним.

**Матерія може існувати у двох формах. Вона може бути зосереджена в певній області (такий стан можна співставити з поняттям «речовина»), або може бути делокалізована (це стан, який збігається з поняттям «поле»). Ці два стани мають свої особливості, проте мають й спільні фізичні характеристики, наприклад, енергія одиниці об'єму речовини і енергія одиниці об'єму поля, або імпульс одиниці об'єму речовини і імпульс одиниці об'єму поля.**

**Поле** — це переносник певного виду взаємодії і саме за цією взаємодією й виявляють його характеристики у кожній точці. Щоб виявити поле та визначити його характеристики, необхідно внести в це поле інше заряджене тіло (таке, щоб його заряд можна було б вважати точковим, і він не спотворював би досліджуваного поля).

В якості силової характеристики поля використовують **напруженість**, яка у кожній точці поля має певну величину і напрям. Якщо переміщуватись від однієї точки поля до іншої так, що напрям вектора напруженості буде весь час орієнтуватись по дотичній до напрямку переміщення, то в результаті ми отримаємо траєкторію, яку називають «**силовою лінією**» поля. Силкові лінії використовують для графічного зображення поля.

Тепер проаналізуємо **аналітичний вираз закону Кулона**, який визначає взаємодію двох зарядів  $q_1$  і  $q_2$ , розміщених на відстані  $r$ :

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}. \quad (1)$$

Цю формулу можна розглядати як дві частини:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left| \frac{q_1}{r^2} \right|, \quad (2)$$

$$F_e = E(r)|q_2|. \quad (3)$$

Формула (2) показує, що заряд  $q_1$  створює навколо себе поле, напруженість якого на відстані  $r$  від заряду дорівнює  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left| \frac{q_1}{r^2} \right|$ . Формула (3) вказує на те, що це поле діє на заряд  $q_2$ , розміщений на відстані  $r$  від заряду  $q_1$ , з силою  $E(r)/q_2$ . Посередником, який зв'язує ці два вирази є напруженість — характеристика поля.

Формула (1) справедлива для взаємодії точкових зарядів. Тоді учень стверджує, що й формули (2) і (3) теж справедливі для цього випадку, тому що вони виходять із (1). Однак необхідно врахувати, що (3) на відміну від (1) і (2) має ширшу область застосування. Чим би не створювалось поле  $E$  (точковим зарядом, сукупністю зарядів чи тілами різної форми), сила, з якою поле діє на заряд  $q_0$ , буде дорівнювати добутку заряду на напруженість поля у тій точці, де розміщений заряд  $q_0$ . У загальному вигляді формулу (3) можна у векторній формі представити так:

$$\vec{F} = \vec{E}(\vec{r})|q_0|. \quad (4)$$

Напрямок сили, діючої на заряд  $q_0$  в даній точці поля, співпадає з напрямом напруженості поля у цій точці, якщо заряд  $q_0$  додатний. Якщо заряд  $q_0$  від'ємний, то напрям сили протилежний до напрямку напруженості.

Різні заряджені тіла створюють навколо себе різні електростатичні поля, кожне з яких діє на вміщений в нього заряд за одним і тим самим законом (4). Тому головне вміти знаходити напруженість поля системи зарядів, враховуючи, що напруженості додаються векторно.

Розглянемо рисунок (1), де є два однакові за величиною заряди  $+q_1$  і  $-q_2$ :

Заряд  $q_1$  створює поле з напруженістю  $\vec{E}_1$ , а заряд  $q_2$  —  $\vec{E}_2$ . Виберемо довільні три точки А, Б, В і у кожній з них виконаємо додавання векторів  $\vec{E}_1$  і  $\vec{E}_2$ . Отримуємо результуючі вектори

$\vec{E}_A$ ,  $\vec{E}_B$  і  $\vec{E}_B$ . Вони будуть дотичними до силових ліній поля у відповідних точках. Ці три вектори покажуть хід силових ліній, зображених на рис 2 а.

Нехай заряд  $+q_1$  збільшився у два рази, а  $(-q_2)$  — зменшився у два рази (рис. 1 б). Вибравши ті самі точки А, Б, В, побудуємо спочатку вектори напруженостей від кожного із зарядів, а потім їх суми:  $\vec{E}_A$ ,  $\vec{E}_B$ ,  $\vec{E}_B$ . Картина силових ліній для цього випадку показана на рисунку 2 б.

І розглянемо ще третій випадок, якщо  $q_1$  зросте ще удвічі, а  $q_2$  ще удвічі зменшиться (рис. 1 в). Побудуємо аналогічно вектори  $\vec{E}_A$ ,  $\vec{E}_B$ ,  $\vec{E}_B$ . Відповідно у цьому випадку картина силових ліній буде мати вигляд, показаний на рисунку 2 в.

Отже, із зростанням відносного значення заряду  $+q_1$  його вплив стає помітнішим. Поле заряду  $+q_1$  починає подавляти поле заряду  $-q_1$ .

Таким самим чином можна будувати картину силових ліній для будь-якої системи зарядів.

З іншого боку, електростатичне поле має властивість подібну до гравітаційного поля, а саме, робота сил поля по будь-якому замкнутому шляху дорівнює нулю. На одних ділянках ця робота додатна, на інших від'ємна, а в сумі дорівнює нулю. **Звертаємо увагу учнів на те, що силові лінії не замкнені; вони починаються і закінчуються на зарядах або йдуть у безмежність.**

Для кращого розуміння цього учням можна пояснити, що якби силові лінії замикались, то ми, рухаючись уздовж цієї лінії, повернулись би у вихідну точку. При русі заряду уздовж сигової лінії робота поля не змінюється за знаком, отже, не може дорівнювати нулеві.

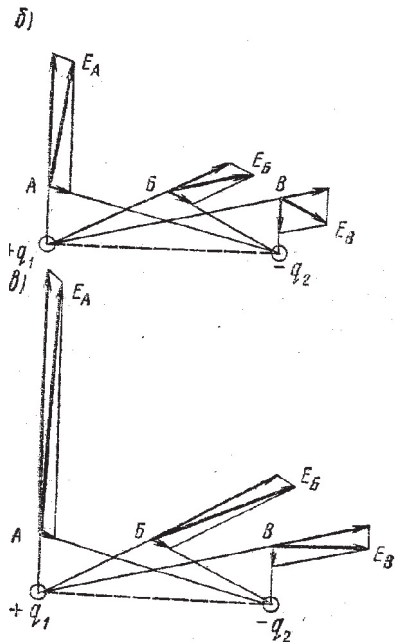
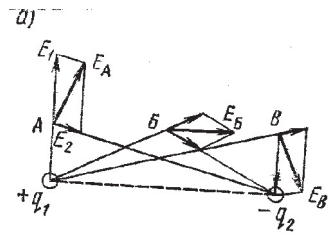


Рис. 1

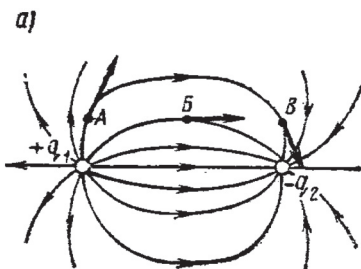
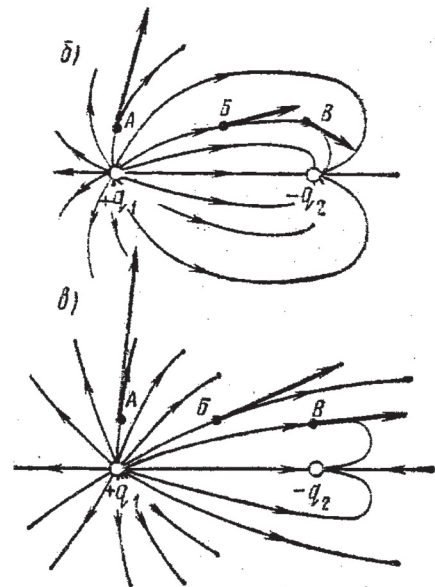


Рис. 2

З іншого боку, робота по замкнутому шляху повинна дорівнювати нулеві, і зрозуміло, що силові лінії не можуть замикатись самі на собі.

З цього також випливає, що робота по переміщенню заряду з однієї точки поля в іншу не залежить від шляху, по якому йде переміщення. Ця робота визначається лише початковою і кінцевою точками шляху. **Тоді можемо ввес-**



ти ще одну характеристику електростатичного поля — потенціал. Ця величина є скалярною, оскільки виражається через роботу. Важливо наголосити учням, що поняття потенціалу не має фізичного змісту.

Фізичний зміст має різниця потенціалів між двома будь-якими точками поля. Різниця потенціалів двох точок поля визначається відношенням роботи сил поля по переміщенню заряду  $q_0$  з точки А в точку В до заряду  $q_0$ :

$$\phi_A - \phi_B = A_{A \rightarrow B} / q_0. \quad (5)$$

Якщо прийняти, що на безмежності поле відсутнє, то формула (5) прийме вигляд

$$\phi_A = A_{A \rightarrow \infty} / q_0. \quad (6)$$

Отже, потенціал поля в даній точці можна знайти через роботу, яку виконують сили поля при переміщенні додатного одиничного заряду з даної точки поля у безмежність.

Якщо розглядати роботу, яка виконується не полем, а проти сил поля, то потенціалом поля в даній точці є робота, яку необхідно виконати при переміщенні додатного одиничного заряду з нескінченності у певну точку. Тому й говорять, що фізичний зміст має різниця потенціалів, а потенціал на безмежності для зручності приймають рівним нулеві.

Потенціал поля точкового заряду  $q_1$  у точці, віддаленій від заряду на відстань  $\vec{r}$  визначається за формулою:

$$\phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_1}{r}. \quad (7)$$

Потенціал поля, створеного системою зарядів, у тій чи іншій точці поля дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів полів, створених кожним зарядом:

$$\phi(\vec{r}) = \phi_1(\vec{r}) + \phi_2(\vec{r}) + \dots. \quad (8)$$

Потенціал поля, створеного додатним зарядом, буде зі знаком «+», а від'ємним — зі знаком «-».

У земній атмосфері діють досить сильні електричні поля. За нормальних умов поверхня Землі має більш високий потенціал, ніж хмара. У середньому градієнт потенціалу для електричного поля Землі складає 100 В/м, а при грозах та бурях може сягати 1000 В/м. Тривалі коливання земного електричного потенціалу погіршують стан здоров'я людей. Це пояснюється тим, що при попаданні в організм великої кількості заряджених частинок порушується обмін речовин, при чому додатні і від'ємні заряди чинять різну дію.

В атмосферному повітрі завжди є певна кількість іонів, які утворюються під впливом природних іонізаторів (космічні промені, ультрафіолетове випромінювання Сонця, випромінювання радіоактивних речовин). Додатні та від'ємні іони своїм електричним полем поляризують молекули повітря, які їх оточують. Такі поляризовані молекули притягаються до іонів внаслідок взаємодії електричних зарядів. Один іон затримує 10—15 молекул, утворюючи комплекс із зарядом іона. Ці комплекси називають легкими аероіонами, якщо це іони повітря атмосфери. Легкі аероіони можуть осідати на дрібних порошинках, крапельках води, передаючи їм свій заряд. Тверді або рідкі частинки, які містяться в повітрі і мають електричний заряд, називають важкими аероіонами. Кількість іонів в атмосфері залежить від геологічних (радіоактивність ґрунту) і метеорологічних (вітер, вологість, дощ) умов. Дослідження показали, що від'ємні, особливо легкі іони, сприятливо діють на організм людини, а додатні, особливо важкі — навпаки..

Досліджено, що бактерії гинуть в електричному полі з напругою 1000 В. М'ясо і масло, піддані дії електричного поля з такою напругою, не вражаються бактеріями або грибами протягом 40 днів.

Геометричне місце точок поля, які мають однаковий потенціал, називають **еквіпотенціальними поверхнями**.

Через кожен точку поля проходить одна силова лінія і одна еквіпотенціальна поверхня. У кожній точці поля силова лінія і відповідна еквіпотенціальна поверхня взаємно перпендикулярні (рис. 3).

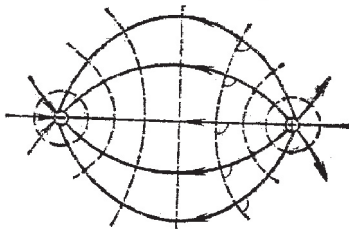


Рис. 3

Для заряджених тіл довільної форми закон їх взаємодії неможливо дати у загальній формі, оскільки сила взаємодії залежить від їх форми і взаємного розташування. Якщо розміри тіл малі порівняно з відстанню між ними (точкові заряди), то форма і розподіл зарядів на їх поверхні не має суттєвого значення.

Надлишкові вільні заряди розташовуються на зовнішній поверхні зарядженого провідника. Це зумовлено тим, що надлишкові вільні заряди відштовхуються один від одного і розходяться на найбільш можливі відстані. Тому вони розташовуються на опуклих поверхнях провідників. Всередині провідника заряди електронів і протонів скомпенсовані. Розподіл зарядів на поверхні провідника характеризують поверхневою густиною зарядів:

$$\sigma = q / S. \quad (9)$$

**Властивість надлишкових електричних зарядів концентруватись на поверхні провідника використовують у генераторах для отримання великих зарядів.**

Вивчаючи електричний струм, варто вказати, що упорядкований рух електронів чи іонів відбувається під впливом електричного поля. Важливо наголосити, що **роботу в електричному колі виконує не струм, а електричне поле**, при цьому взаємодія електронів з іонами металу визначає ту частину енергії, яка безповоротно перетворюється на внутрішню енергію провідника. **Напругу** можна ввести як фізичну величину, яка характеризує електричне поле, що є причиною струму.

Учні допускають помилку, коли пояснюючи зміст слова «джерело струму», мають на увазі, що це джерело створює електричні заряди. У процесі навчання на це слід звернути увагу, виправити і доповнити.

**Наголошуємо на тому, що електричні явища ми сприймаємо за їх дією. Наприклад, зібравши електричне коло, демонструємо не струм, його суть, а лише дію струму та її наслідки — відхилення стрілки приладів, свічення ламп тощо.**

Оскільки людина безпосередньо чуттєво не сприймає електричні явища, то необхідно використовувати моделі для вивчення цих явищ та пояснення їх фізичного змісту, наприклад, гідродинамічну модель, у якій струм порівнюється з рухом води тощо.

При вивченні закону Ома для ділянки кола поняття струму, напруги, опору необхідно розглядати у такій послідовності: сила струму, напруга, опір. Учні не завжди розуміють поняття опору. **Опір** — це властивість провідника, а саме, здатність «перешкоджати» впорядкованому рухові зарядів.

**Електричні властивості речовин і електромагнітні явища класична електронна теорія пояснює наявністю у тілах електронів і іонів, їх рухом і взаємодією.**

**Електричний струм** — це спрямований рух заряджених частинок. Про наявність струму ми можемо стверджувати за діями і явищами, якими він супроводжується: наявність магнітного поля навколо рухомих зарядів, нагрівання провідників, «холодне» світіння у газонаповнених трубках, хімічна дія, наприклад, при виділенні міді з розчину мідного купоросу при електролізі тощо.

**За напрям струму приймають напрям руху додатних зарядів.**

У металах вільні електрони рухаються у напрямі, протилежному прийнятому напрямку струму. Сила струму — величина скалярна.

Експериментально встановлено, що сила струму у провіднику прямо пропорційна прикладеній до нього напрузі:

$$I = kU, \quad (10)$$

де  $k$  — коефіцієнт пропорційності, який називають електропровідністю, а величину, обернену до електропровідності — опором  $R = 1/k$ , який не залежить від напруги, а лише від властивостей провідника (матеріалу, довжини, поперечного перерізу, температури).

**Закон Ома** для ділянки електричного кола зв'язує між собою силу струму, напругу і опір, а саме: сила струму на ділянці кола прямо пропорційна напрузі і обернено пропорційна опорів цієї ділянки:

$$I = U/R. \quad (11)$$

Опір визначається:

$$R = \rho \ell / S, \quad R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (12)$$



де  $\rho$  — питомий опір, а  $\alpha$  — **температурний коефіцієнт опору**. Залежність опору провідника від температури використовують для виготовлення термометрів опору, які знаходять застосування для вимірювання дуже низьких і дуже високих температур.

*Деякі сплави (наприклад, константан) мають дуже малий температурний коефіцієнт опору, їх можна використовувати для виготовлення шунтів, додаткових опорів для вимірних приладів. При зниженні температури питомий опір металів зменшується, а за значного охолодження їх (ртуть, свинець, олово та інші) до 2—8 К опір електричному струмові зникає (надпровідність). Такі надпровідники використовують в якості запам'ятовуючих пристроїв. Створення надпровідних матеріалів сприятиме вирішенню проблеми передачі електроенергії проводами без втрат.*

Створюється і тривало підтримується електричне поле і електричний струм за допомогою джерел струму. Тривало електричний струм існує лише тоді, коли відбувається розподіл електричних зарядів. **Роль джерела саме полягає у перерозподілі електричних зарядів і у підтриманні електричного поля у провіднику.**

Вільні електрони, які хаотично рухаються у металі, при замиканні кола під впливом електричного поля, створеного джерелом струму, набувають упорядкованого руху. Переконаємось при цьому у «дії сили» і наявності «переміщення», що підтверджує роботу поля. Рух електронів зумовлений дією електричного поля. Отже, **роботу виконує електричне поле, а для цього витрачається енергія джерела струму.**

Коли коло розімкнене і струму в ньому немає, тоді електрична енергія не витрачається і ніякі процеси не відбуваються, наприклад, у хімічному джерелі струму. При замиканні кола виконується робота і витрачається електрична енергія, а у хімічному джерелі струму йде хімічна реакція, результатом якої є перетворення хімічної енергії в електричну для поповнення витрати енергії в електричному колі.

Робота постійного струму на ділянці кола рівна добутку напруги  $U$  цієї ділянки на струм  $I$  і на час проходження струму  $t$ :

$$A = UI t. \quad (13)$$

**Роботу струму вимірюють електричними лічильниками.**

Якщо використати формулу закону Ома для ділянки кола, то отримаємо:

$$A = U^2 t / R; A = P R t, \quad (14)$$

де першим рівнянням зручно користуватись при паралельному сполученні провідників (напруга стала), а другим — при послідовному (струм сталий).

*Акумулятор в автомобілі розміщують якнайближче до стартера і з'єднують їх товстою мідною шиною, щоб зменшити спад напруги на проводах і витрати енергії на їх нагрівання.*

Величина, рівна відношенню перетвореної електроенергії у інші види до часу, протягом якого відбулось це перетворення, називається **потужністю**:

$$P = E / t; P = IU; P = U^2 / R; P = I^2 R. \quad (15)$$

**Потужність вимірюють ватметром.**

Електрони у процесі руху взаємодіють з атомами провідника, внаслідок чого швидкість теплового руху атомів зростає, внутрішня енергія провідника збільшується, а сам провідник нагрівається. У цьому випадку електрична енергія перетворюється на внутрішню.

При проходженні електричного струму в провіднику з опором  $R$ , енергія електричного поля перетворюється на внутрішню енергію хаотичного руху атомів речовини, внаслідок чого провідник нагрівається (закон Джоуля-Ленца):

$$Q = P R t. \quad (16)$$

*Теплова дія струму використовується в електричних нагрівниках, електроплитах, прасках, камінах тощо.*

*Для уникнення короткого замикання призначені запобіжники, їх виготовляють із провідників легкоплавких металів.*

*Не можна електронагрівач виймати з води і залишати увімкненим, тому що спіраль розігрівається настільки, що перегорас.*

**Всередині джерела рух зарядів від точок з меншим потенціалом до точок з більшим потенціалом зумовлений дією електромагнітних сил неелектричного походження. Це відбувається лише внаслідок неперервного перетворення енергії одного виду в інший, наприклад, у генераторах механічна**



енергія перетворюється на електричну, в батарейках — хімічна енергія, в термопарах — теплова, у фотоелементах — світлова.

Перетворення в джерелі струму інших видів енергії на електричну відповідає повній роботі, відношення якої до модуля перенесеного заряду у замкненому колі для кожного джерела має певне значення і є енергетичною характеристикою джерела (**електрорушійною силою**):

$$E = A/q, \quad (17)$$

**Використовуючи енергію поза електричним колом, джерело струму (генератор) створює рух зарядів (електричний струм) по усьому замкненому колу.**

При переміщенні заряду по замкненому колу енергія електричного поля передається рухомих зарядам (електричний струм) і після цього перетворюється на кожній ділянці в інші види енергії. На зовнішній ділянці з опором  $R$  електроенергія перетворюється на механічну і теплову енергію, а мірою цього перетворення є робота  $A_1$ . Отже, джерело струму безперервно підтримує напругу на кінцях провідника.

*При зарядженні акумулятора необхідно подивитись на рівень електроліту. Якщо він нижчий від нормального, то необхідно додати електроліт (якщо його пролито), або дистильовану воду (якщо він випарувався).*

На внутрішній ділянці джерела з опором  $r$  енергія рухомих зарядів перетворюється на теплову енергію і служить причиною нагрівання джерела струму. Мірою цього перетворення є робота  $A_0$ . За законом збереження і перетворення енергії для процесів у джерелі струму і в усьому замкненому колі повна робота дорівнює сумі названих вище робіт:

$$A = A_1 + A_0; E = (A_1 + A_0)/q; E = qU + qU_0; U = IR; U_0 = Ir;$$

$$E = IR + Ir; I = E/(R+r). \quad (18)$$

**Сила струму в замкненому електричному колі прямо пропорційна електрорушійній силі джерела і обернено пропорційна повному опоріві кола (закон Ома для повного кола).**

Енергія джерела більш раціонально використовується тоді, коли більша частина її перетворюється в інші види на зовнішній ділянці кола. На внутрішній ділянці кола відбувається некорисне перетворення електричної енергії на внутрішню (теплову). Відношення корисно виконаної роботи до повної, чисельно рівної витраченій джерелом енергії по створенню електричного струму, називають **коефіцієнтом корисної дії** електричного кола.

При послідовному з'єднанні джерел закон Ома для повного кола матиме вигляд:

$$I = nE/(R+nr), \quad (19)$$

а при паралельному:

$$I = E/(R+r/m), \quad (20)$$

де  $n$  — кількість елементів в  $m$  групах.

Величину, яка характеризує здатність провідників накопичувати електричні заряди, називають **електроємністю**. Напруга  $U$  між двома провідниками пропорційна величині електричних зарядів, накопичених на провідниках. Тому відношення заряду  $q$  одного з провідників до різниці потенціалів між цими провідниками не залежить від заряду. Воно визначається геометричними розмірами провідників, їх формою, взаємним розміщенням та електричними властивостями навколишнього середовища (**діелектричною проникністю  $\epsilon$** ).

Це дозволяє ввести поняття **електроємності двох провідників**. Електроємністю двох провідників називають відношення заряду одного з провідників до різниці потенціалів між ними:

$$C = \frac{q}{U}. \quad (21)$$

У СІ одиницею вимірювання електроємності є **фарад**:

$$[C] = \text{Кл/В} = \text{Ф}.$$

На практиці використовують менші одиниці: мікрофарад (мкф) —  $10^{-6}$  Ф; пікофарад (пФ) —  $10^{-12}$  Ф.

Система двох провідників, розділених шаром діелектрика (товщина шару дуже мала порівняно з розмірами провідників) називається **конденсатором**. Електричне поле конденсатора зосереджене між його пластинами.

Якщо на пластинах площею  $S$  знаходяться електричні заряди  $q+$  чи  $q-$ , то напруженість поля між пластинами визначається рівнянням:

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} + \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S}. \quad (22)$$

Електроємність плоского конденсатора прямо пропорційна площі пластин і обернено пропорційна відстані між ними:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}. \quad (23)$$

Основними параметрами конденсатора є його ємність і максимальна напруга, яку він може витримати без пробоя діелектрика. Щоб підібрати потрібну електроємність для заданої робочої напруги, конденсатори з'єднують у батареї. **Можливими є три типи з'єднань конденсаторів: послідовне, паралельне і змішане.**

### *Магнітне поле електричного струму*

Варто звернути увагу учнів на фізичні явища, в яких проявляється магнітне поле і на приклади практичного використання магнітного поля у приладах і машинах (електромагніти, електромагнітні реле, електродвигуни тощо).

Щоб учні усвідомили, що магнітне поле найперше асоціюється зі струмом, а не з магнітами, варто продемонструвати дослід по взаємодії гнучких провідників зі струмом. Залежно від напрямку струму спостерігається не лише притягання, але й відштовхування провідників. Важливо відзначити, що між провідниками не будуть діяти сили взаємодії, якщо по одному з них проходить струм, а по іншому — ні.

Сила магнітної взаємодії паралельних струмів визначається:

$$F = \mu_0 I_1 I_2 \ell / 2\pi r, \quad (24)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м (магнітна стала).

Отже, **провідник зі струмом оточений магнітним полем**. Його можна виявити по дії на інший провідник зі струмом та на магнітну стрілку. При зміні напрямку струму у провіднику змінюється і напрям дії магнітного поля. Магнітне поле поширюється в усіх напрямках від провідника і пронизує навколишнє тіла. Воно не має меж.

Магнітне поле, як і електричне, має свої характеристики. Для дослідження властивостей магнітного поля використовують «елемент струму» — невелику рамку зі струмом. Досліджуючи поведінку рамки, вміщеної між двох магнітів, або між полюсами підковоподібного магніту, робимо висновок: **магнітне поле діє на рамку зі струмом так, що вона орієнтується певним чином у просторі. Її площина встановлюється перпендикулярно до ліній, що проходять через полюси магнітів; напрям нормалі до площини контуру залежить від розміщення полюсів і напрямку струму в контурі**. Якщо замінити рамку магнітною стрілкою, підвішеною на вістрі, то положення стрілки у магнітному полі співпадає з положенням осі рамки із струмом (перпендикуляра до рамки).

Фізичну величину, що характеризує магнітне поле, називають **вектором магнітної індукції**. Проводячи дослід, ми можемо побачити, що при різних положеннях рамки зі струмом у магнітному полі на неї діють обертаючі моменти різної величини. **Максимальний момент сил, з яким магнітне поле діє на рамку зі струмом, прямо пропорційний площі рамки і силі струму в ній:**

$$M_{\max} \approx IS; \quad M_{\max} = BIS; \quad B = \frac{M_{\max}}{IS}. \quad (25)$$

Оскільки  $B$  не залежить від  $I$  та  $S$ , цю величину обрано за характеристику магнітного поля в місці розташування рамки. Вона називається **магнітною індукцією поля в цій області**. Дія магнітного поля у кожній точці має певний напрям, а характеристика цієї дії — **магнітна індукція — є вектором**.

Добуток  $IS = p_m$  називають магнітним моментом рамки зі струмом, а  $M_{\max} = p_m \cdot B$  — **максимальним механічним обертальним моментом**. *Дію обертального моменту на рамку зі струмом (або замкнений контур будь-якої форми), розміщений у магнітному полі, використовують в електричних двигунах і магнітоелектричних вимірювальних приладах.*

Магнітне поле можна зобразити за допомогою силових ліній (**ліній магнітної індукції**). Лінія магнітної індукції проводиться так, що дотична у кожній точці співпадає за напрямом з силою,

діючою у цій точці на північний полюс магнітної стрілки. **Лінії магнітної індукції виходять з північного полюса і входять у південний, а всередині магніту продовжуються від південного до північного, тобто вони замкнені на відміну від силових ліній електричного поля. Тому кажуть, що магнітне поле вихрове.**

Вивчаючи магнітне поле постійного магніту, Ампер висунув гіпотезу, що **властивості постійних магнітів пояснюються існуванням у них колових мікроскопічних струмів, зумовлених магнітними моментами електронів у атомах.**

За законом Ампера, сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, визначається формулою:

$$F = I \ell B \sin \alpha, \quad (26)$$

де  $\alpha$  — кут між вектором індукції і напрямом струму у провіднику.

Для характеристики силових властивостей магнітного поля ще використовують **напруженість магнітного поля  $H$** , яка не залежить від магнітних властивостей середовища і пов'язана з магнітною індукцією співвідношенням:

$$B = \mu_0 \mu H. \quad (27)$$

Енергетичною характеристикою магнітного поля є **магнітний потік  $\Phi$  (Вб)**:

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (28)$$

де  $\alpha$  — кут між напрямом вектора магнітної індукції і нормаллю до поверхні.

**Індукція магнітного поля характеризує поле в даній точці, а потік індукції (магнітний потік) — на поверхні.**

При переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі виконується робота

$$A = IB \Delta S, \quad \Delta \Phi = B \Delta S, \quad A = I \Delta \Phi. \quad (29)$$

Магнітний потік котушки із струмом знаходять за формулою:

$$\Phi = LI, \quad (30)$$

де  $L$  — індуктивність котушки.

**Якщо магнітне поле створене системою струмів, то вектор магнітної індукції дорівнює векторній сумі магнітних індукцій полів, створених цими струмами окремо в досліджуваній точці (принцип суперпозиції полів):**

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i. \quad (31)$$

На рухомий заряд у магнітному полі діє сила Лоренца

$$F = qvB \sin \alpha, \quad (32)$$

напрямок якої можна визначити за правилом лівої руки, враховуючи, що при русі електронів витягнуті чотири пальці повинні бути спрямовані проти вектора швидкості (за напрямом струму).

Індукційні струми в суцільних провідниках називаються **вихровими струмами Фуко**. Ці струми примушують стрілки приладів рухатись плавно, безконтактно плавлять метал надчистих сплавів у вакуумі.

*Вихрові струми використовують у індукційних високочастотних печах. Струми Фуко миттєво розжарюють поверхню металу, вона загартовується у холодній рідині і стає твердою, а середина лишається м'якою і пластичною, що дає змогу працювати в умовах вібрації і ударів.*

*Сила Лоренца завжди перпендикулярна до площини, в якій розміщені вектори  $\vec{B}$  і  $\vec{v}$ . Отже, сила Лоренца роботи не виконує, тобто не може змінити кінетичної енергії заряджених частинок. Вона лише змінює напрям швидкості руху вільних зарядів і тому є доцентровою силою. Це використовують в циклотронах, синхротронах, інших приладах сучасної техніки.*

В результаті зміни магнітного поля виникає електричне поле, яке зумовлює в колі провідника електричний струм. Цей струм називається **індукційним**, а процес виникнення електричного поля внаслідок зміни магнітного поля — **електромагнітною індукцією**. Як рухоме тіло має кінетичну енергію, так і електричний струм має електромагнітну енергію. Виникнення індукційного електричного струму в генераторах пов'язане з перетворенням механічної енергії в електромагнітну.

Індукційний електричний струм в замкненому контурі завжди має такий напрям, при якому його магнітне поле протидіє зміні магнітного потоку, що зумовив цей струм (**закон Ленца**). Енергетичною кількісною характеристикою електромагнітної індукції є **е.р.с індукції**, яка залежить за сталих  $B$  і  $l$  від швидкості руху провідника і синуса кута між напрямками магнітної індукції і швидкості:

$$E = -Blv \sin \alpha, \quad (33)$$

$$E = -\Delta \Phi / \Delta t. \quad (34)$$

Останнє рівняння є математичним виразом основного закону електромагнітної індукції.

Одним із видів електромагнітної індукції є самоіндукція. Е.р.с самоіндукції, що зумовлена зміною струму у котушці (контурі), пропорційна швидкості цієї зміни:

$$E_c = -L \Delta I / \Delta t, \quad (35)$$

де  $L$  — індуктивність котушки, яка залежить від форми, розмірів, числа витків котушки.

При розмиканні рубильника він іскрить. Якщо ж паралельно до рубильника під'єднати конденсатор, то іскріння припиняється, оскільки струм самоіндукції, що виникає при розмиканні, заряджає конденсатор і не проявляється у вигляді іскри через рубильник.

Носіями магнітних властивостей речовини є елементарні частинки, які входять до складу атомів. Результуюче магнітне поле атома залежить від орієнтації електронів на орбіталях і їх взаємодії з ядром, в склад якого входять протони і нейтрони.

Енергія магнітного поля:

$$E_b = LI^2 / 2. \quad (36)$$

Магнітні і електричні поля не існують незалежно одне від одного, а являються двома сторонами єдиного електромагнітного поля. Поділ єдиного поля на магнітне і електричне залежить від системи відліку.

### Основні формули

$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon_r r^2}$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$	$F$ — сила взаємодії точкових електричних зарядів $q_1, q_2$ — електричні заряди $r$ — відстань між зарядами $\epsilon_r$ — відносна діелектрична проникливість середовища $\epsilon_0$ — електрична стала $\epsilon$ — абсолютна діелектрична проникливість середовища	Н  Кл м  $\text{Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ $\text{Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$
$E = \frac{F}{q_{np}}$ $E = k \frac{q}{\epsilon_r r^2}$	$E$ — напруженість електричного поля $q_{np}$ — пробний заряд $q$ — заряд, який створює поле	Н/Кл, В/м Кл Кл
$\varphi = \frac{E_n}{q_{np}}$ $\varphi = k \frac{q}{\epsilon_r r}$	$\varphi$ — потенціал електричного поля $E_n$ — потенціальна енергія пробного заряду	В Дж
$U = \varphi_1 - \varphi_2$	$U$ — напруга	В
$A = qU$	$A$ — робота електричного поля по переміщенню заряду з однієї точки поля в іншу	Дж

$E = U / d$	$d$ — відстань між точками електричного поля	м
$C = \frac{q}{\Phi}$ $C = \frac{q}{U}$ $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$	$C$ — електроємність провідника або конденсатора $q$ — заряд конденсатора $U$ — напруга між пластинами конденсатора $S$ — площа обкладки $d$ — товщина діелектрика	Ф Кл В м <sup>2</sup> м
$W = \frac{CU^2}{2}$	$W$ — енергія конденсатора	Дж
$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ $j = \frac{I}{S}$	$I$ — сила струму $j$ — густина струму	А А/м <sup>2</sup>
$R = \rho \frac{l}{S}$ $R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$	$R$ — опір провідника $\rho$ — питомий опір $S$ — площа поперечного перерізу провідника $l$ — довжина провідника $\alpha$ — температурний коефіцієнт опору	Ом Ом·м м <sup>2</sup> м К <sup>-1</sup>
$I = \frac{U}{R}$ закон Ома для ділянки кола $I = \frac{E}{R + r}$ закон Ома для повного кола	$E$ — електрорушійна сила джерела $R$ — опір зовнішньої ділянки кола $r$ — опір внутрішньої ділянки кола	В Ом Ом
$A = IUt$ $A = I^2 R t$ $A = \frac{U^2}{R} t$	$A$ — робота електричного поля	Дж (А·В·с)
$P = IU$ $P = I^2 R$ $P = \frac{U^2}{R}$	$P$ — потужність електричного струму	В (Дж/с)
$P_0 = IE$ $P_{\text{н}} = P_0 - I^2 r$	$P_0$ — повна потужність, яку розвиває джерело струму $P_{\text{н}}$ — потужність навантаження у повному колі	В В
$Q = IUt$ $Q = I^2 R t$ $Q = \frac{U^2}{R} t$	$Q$ — кількість тепла, що виділяється при проходженні струму в колі без електрорушійної сили	Дж

$m = kQ$ $m = kIt$ $m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} Q$ закони Фарадея	$m$ — маса речовини, виділеної на електроді при електролізі $k$ — електрохімічний еквівалент речовини $M$ — молярна маса $F$ — стала Фарадея $n$ — валентність	кг  кг/Кл кг/моль Кл/моль
$m_0 = \frac{M}{N_A}$	$m_0$ — маса іона	кг
$F = \frac{\mu_r \mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$	$I_1, I_2$ — струми в паралельних провідниках $\mu_r$ — відносна магнітна проникливість $\mu_0$ — магнітна стала $r$ — відстань між провідниками	А  Гн/м м
$F = BIl \sin \alpha$ закон Ампера $B = \frac{F}{Il}$ $B = \mu_0 \mu_r H$	$F$ — сила, діюча на провідник зі струмом у магнітному полі $B$ — індукція магнітного поля $H$ — напруженість магнітного поля $\alpha$ — кут між напрямом струму і напрямом індукції магнітного поля	Н  Тл А/м град.
$F_d = Bqv \sin \alpha$ закон Лоренца	$F_d$ — сила Лоренца	Н
$\Phi = BS \cos \alpha$	$\Phi$ — магнітний потік	Вб
$E = - \left  \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right $	$E$ — електрорушійна сила індукції $\Delta \Phi$ — зміна магнітного потоку $\Delta t$ — зміна часу	В Вб с
$E_{np} = -Blv \sin \alpha$	$E_{np}$ — електрорушійна сила індукції, яка виникає у прямолінійному провіднику $l$ — довжина провідника	В  м
$E_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	$E_{ind}$ — електрорушійна сила самоіндукції $L$ — індуктивність котушки	В Гн/м
$W = \frac{LI^2}{2}$	$W$ — енергія магнітного поля	Дж

### Якісні задачі

1. Чому дрібні крапельки парфум, які розпилює пульверизатор, виявляються наелектризованими?
2. Чи може одне й те саме тіло, наприклад, ебонітова паличка, внаслідок тертя електризуватися то додатньо, то від'ємно?
3. Чому дроти електричних мереж кріплять до стовпів за допомогою фарфорових тримачів, а не безпосередньо до металевих кріюків?
4. Чому фарфорові ізолятори для зовнішньої проводки виготовляють у вигляді дзвіночків?
5. Чи правильним є твердження, що два заряди, рівні за величиною, але протилежні за знаком, знищуються, якщо їх помістити на один і той самий провідник?
6. Якщо у колбу, заповнену повітрям, помістити радіоактивну речовину, то  $\alpha$ -частинки не викличуть світіння сірчастого цинку, яким вкриті її стінки. За умови відкачування повітря стінки починають світліти. Чому?
7. Якщо скляна паличка тертям шкірою заряджається додатним електричним зарядом, то якого заряду набуде шкіра?



8. Чому при виникненні пожежі в електричних установках необхідно швидко вимкнути рубильник? Чому не можна гасити вогонь, викликаний струмом, водою або звичайним вогнегасником, а необхідно використати сухий пісок або пісковий вогнегасник?
9. У квартирі згасло світло. При огляді запобіжника виявили оплавлений кінець обриву дротика на запобіжнику. На якій дії струму ґрунтується застосування цього запобіжника?
10. У електропоїзді струм йде дротом у повітрі, двигуні вагону і по рейках. Чи однакова сила струму у тонкому дроті і товстій рейці?
11. Що потрібно відімкнути спочатку: вилку переносного шнура від розетки чи другий кінець шнура, приєднаного до приладу?
12. Що змінилось на ділянці кола, якщо ввімкнений паралельно до неї вольтметр показує зменшення напруги?

### Методичні рекомендації

*З'ясуємо, від чого перегорає електрична лампочка — від великої напруги, чи від великої сили струму?*

У більшості випадків учні відповідають, що це відбувається через великий струм.

Однак це питання вимагає логічних тлумачень. А саме: лампа перегорає внаслідок виділення великої кількості тепла за одиницю часу, тобто внаслідок різкого збільшення потужності струму. Збільшення потужності може бути наслідком зміни різних факторів: напруги, що подається на лампочку, струму, що проходить по її спіралі, або опору лампочки.

Для з'ясування відповіді на запитання необхідно пригадати усі відомі формули для потужності, яка виділяється на деякому опорі  $R$ .

$$N = (\varphi_1 - \varphi_2) I, \quad (37)$$

$$N = I^2 R, \quad (38)$$

$$N = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{R}, \quad (39)$$

де  $N$  — потужність, яка виділяється на опорі  $R$ ,  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  — різниця потенціалів на кінцях опору  $R$ ,  $I$  — сила струму.

Легко побачити, що ці формули еквівалентні, оскільки одна переходить в іншу при використанні закону Ома. Еквівалентність цих формул вказує на те, що при відповіді на запитання про перегорання лампочки не можна розглядати окремо струм або напругу, а необхідно аналізувати у сукупності всі три величини: силу струму, напругу і опір.

В більшості випадків учні обирають для розв'язання формулу  $N = I^2 R$ , пояснюючи свій вибір тим, що напруга, яка підводиться до лампочки, стала. Тож залежність потужності від напруги не викликає інтересу, а, отже, формула  $N = I^2 R$  найбільш підходить як робоча.

Зазначаємо, що це твердження неправильне. Для пояснення правильної відповіді розглянемо ще одну задачу.

*Електрична плитка має три секції з однаковим опором. Якщо усі три секції сполучити паралельно, то вода в чайнику закипає через 6 хвилин. Через який час закипить та сама кількість води у чайнику при різних сполученнях секцій електроплитки, показаних на рисунку?*

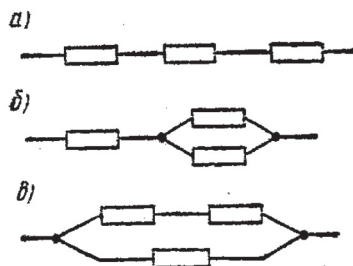


Рис. 4

Учні у процесі розгляду задачі пропонують знаходити повний опір у кожному із випадків. У вихідному випадку (паралельне сполучення) повний опір  $R_0 = R/3$ , а у випадках а, б, в (рис. 3.4) відповідь буде:

$$R_a = 3R; R_b = R + \left(\frac{R}{2}\right) = \frac{3}{2}R; R_c = 2R^2/3R = \frac{2}{3}R. \quad (40)$$

Тоді через напругу  $U$ , яка підводиться до плитки, і загальний опір в кожному випадку треба знаходити силу струму через електроплитку. Проте цього робити не потрібно. Нехай у кожному із цих випадків час, необхідний для нагрівання води, позначимо відповідно  $t_0, t_a, t_b, t_c$ . Теплота, яка виділяється, дорівнює добутку потужності струму на час нагрівання. У кожному із наведених випадків ця теплота однакова. Використовуючи для потужності струму формулу

$$P = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2)^2}{R}, \text{ отримаємо: } U^2 t_a / R_a = U^2 t_0 / R_0 = U^2 t_b / R_b = U^2 t_c / R. \quad (41)$$

Підставивши у це рівняння співвідношення (40) і скоротивши спільні множники ( $U^2$  і  $1/R$ ) знайдемо:

$$3t_a = t_0 / 3; 2t_b = 3t_0; 3t_c = 2t_0. \quad (42)$$

Звідси одразу знаходимо необхідний час:

$$t_a = 9t_0 = 54 \text{ хв}; t_b = 9t_0 = 27 \text{ хв}; t_c = 2t_0 = 12 \text{ хв}.$$

Слід відзначити, що в цій задачі зручно було користуватись формулою (39) для потужності саме тому, що напруга, яка подається на електроплитку, стала.

Важливим для розуміння є ще наступне завдання.

**Джерело струму з електрорушійною силою  $E$  і внутрішнім опором замкнути на деякий зовнішній опір  $R$ . Знайти коефіцієнт корисної дії джерела ( $\eta$ ).**

Учні добре знають, що  $\eta$  джерела — це відношення корисної потужності, яка виділяється на зовнішньому опорі, до загальної потужності, тобто до суми потужностей, що виділяються на внутрішньому і зовнішньому опорах:

$$\eta = \frac{I^2 R}{I^2 (R+r)} = \frac{R}{R+r}. \quad (43)$$

**Припустимо, що внутрішній опір джерела незмінний, а змінюється лише зовнішній опір. Як при цьому буде змінюватись  $\eta$  джерела?**

В деяких випадках учні правильно відзначають, що при  $R = 0$  (коротке замикання)  $\eta = 0$ . При  $R = r$   $\eta = 0,5$ . При безмежному зростанні  $R$   $\eta$  прямує до одиниці.

**Пояснити, як при цьому зміниться корисна потужність (потужність, що виділяється на зовнішньому опорі)?**

При зростанні  $R$  зростає  $\eta$  джерела, а отже буде збільшуватися і корисна потужність. Це неправильне твердження. Зростання  $\eta$  джерела струму означає, що збільшується відношення корисної потужності до всієї потужності джерела, а корисна потужність може при цьому зменшуватись. Корисна потужність:

$$N_k = \frac{E^2}{(R+r)^2} R = \frac{(E^2/r)x}{(x+1)^2}, \quad (44)$$

де  $x = R/r$ . Якщо  $x \ll 1$ , то  $N \sim x$ . Якщо  $x \gg 1$ , то  $N \sim 1/x$ . Максимальне значення  $N_k$  приймає при  $x = 1$  ( $R = r$ ), при цьому  $N_k = E^2 / (4r)$ .

Розглянемо наступну задачу. **Двісті паралельно сполучених однакових ламп опором по 300 Ом кожна під'єднанні до джерела струму з е.р.с 100 В і внутрішнім опором 0,5 Ом. Знайти потужність, яка виділяється на кожній лампі, а також відносну зміну потужності, що виділяється на лампі, якщо одна з двохсот ламп перегоріла. Опором з'єднувальних проводів знехтувати.**

Учень пропонує такий хід розв'язку: сила повного струму на зовнішній ділянці кола дорівнює  $I_n = E / (r + R/n) = 50 \text{ А}$ ; сила струму через одну лампу дорівнює  $I = I_n / n = 0,25 \text{ А}$ . Звідси знаходимо потужність, що виділяється на одній лампі:  $N = I^2 R = 37,5 \text{ Вт}$ . Щоб знайти відносну

зміну потужності, яка виділяється на лампі, якщо одна із двохсот ламп перегорить, необхідно знайти спочатку потужність  $N_1$  на одній лампі із  $n = 199$ , а потім розрахувати відношення:

$$f = (N_1 - N) / N. \quad (45)$$

Більш доцільним буде інший шлях, а саме, шукану величину  $f$  виразити у загальному вигляді через опори  $R$  та  $r$  і через число ламп  $n$ :

$$N = (R/n^2) E^2 / (r + R/n)^2, \quad (46)$$

$$N_1 = \frac{R}{(n-1)^2} \cdot \frac{E^2}{(r + R/(n-1))^2}. \quad (47)$$

Підставивши ці вирази у формулу для  $f$ , отримаємо:

$$f = \left( \frac{N_1}{N} - 1 \right) = \frac{nr + R}{nr - r + R} - 1 = \frac{1}{1 - \frac{r}{nr + R}} - 1. \quad (48)$$

Дріб у знаменнику останнього рівняння набагато менший за одиницю внаслідок того, що у колі багато ламп і опір лампи багато більший за внутрішній опір джерела струму. Тому, застосувавши формулу наближених обчислень  $(1 + \lambda)^2 \approx 1 + \alpha\lambda$ , отримаємо:

$$f = \left( 1 - \frac{r}{nr + R} \right)^{-2} - 1 \approx \frac{2r}{nr + R}. \quad (49)$$

Після обчислень матимемо  $f = 0,0025$ .

*Чому не можна було вчинити так, як пропонував учень?*

Це можна пояснити тим, що відносна зміна потужності дуже мала і для отримання цього результату за попереднім методом необхідно розраховувати значення  $N_1$  з точністю до чотирьох знаків. Проте заздалегідь невідомо, з якою точністю потрібно буде розраховувати  $N_1$ . Якщо в даному випадку  $N_1$  брати з точністю до двох знаків, то ми отримали б результат, що потужність  $N_1$  співпадає з потужністю  $N$ .

*Чи добре розуміють і можуть застосовувати учні закони Кулона і Ома?*

Якщо попросити учнів сформулювати закон Кулона, то переважно маємо таку відповідь: «Сила взаємодії двох зарядів пропорційна добуткові цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними».

Це формулювання не повне, а тому його й не можна вважати правильним.

Акцентувати увагу учнів варто на наступних аспектах:

- сила взаємодії зарядів залежить від діелектричних властивостей середовища;
- сила — це векторна величина, тому необхідно вказати її напрям;
- закон Кулона говорить про взаємодію точкових зарядів.

Доцільно звернути увагу учнів на термінологію, пояснити зміст понять «заряд», «заряд переходить від одного тіла до іншого», «заряджене тіло».

*Закон Ома знають усі учні. Проте, якщо питання стосується практичного його використання, то виникають деякі труднощі.* Наприклад, розглянемо рис. 5

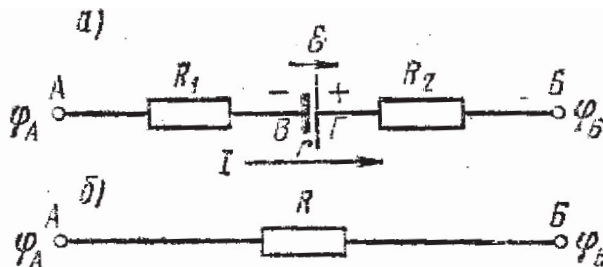


Рис. 5

На ньому зображено ділянку електричного кола, де  $E$  —електрорушійна сила, спрямована направо,  $R_1$  і  $R_2$  — опори,  $r$  — внутрішній опір джерела живлення.  $\varphi_A$  і  $\varphi_B$  — потенціали на кінцях заданої ділянки кола. Струм на ділянці йде зліва направо. Знайти силу струму  $I$ .

Учень каже, що тут розімкнене коло, але ми пропонуємо розглянути ділянку будь-якого великого кола, яке цілком нам може бути й невідоме, достатньо, що задані потенціали на кінцях даної ділянки.

Тоді учень каже, що для ділянки кола струм дорівнює відношенню напруги до опору. Ми повинні його поправити, наприклад, сказавши, що ділянкою буде рис. 5 б і для неї можна записати закон Ома у вигляді

$$I = (\varphi_A - \varphi_B) / R, \quad (50)$$

де замість різниці потенціалів можна використати термін «напруга» і позначити його через  $U$ .

З'ясуємо випадок з рис 5 а. На ньому показано зміну потенціалу уздовж заданої ділянки кола. Струм  $I$  йде зліва направо, тому від А до В потенціал зменшується. Спад потенціалу на опорі  $R_1$  рівний  $IR_1$ . Тоді нехай у точках В і Г знаходяться полюси джерела струму, між якими різниця потенціалів — це е.р.с  $E$ . Між точками В і Г потенціал падає на внутрішньому опорі джерела; цей спад напруги дорівнює  $Ir$ . Від Г до Б потенціал падає на опорі  $R_2$ . Цей спад дорівнює  $IR_2$ .

Сума спадів потенціалів на усіх опорах ділянки мінус  $E$  й буде різницею потенціалів на кінцях розглянутої ділянки:

$$I(R_1 + R_2 + r) - E = \varphi_A - \varphi_B. \quad (51)$$

Звідси сила струму, тобто закон Ома для даної ділянки кола:

$$I = \frac{E + (\varphi_A - \varphi_B)}{R_1 + R_2 + r}. \quad (52)$$

Звернемо увагу на те, що з цього результату можемо отримувати частинні випадки. Для найпростішого випадку без е.р.с вважаємо  $E = 0$ ,  $r = 0$ , тоді отримаємо те, що відповідає формулі 50:

$$I = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_1 + R_2}. \quad (53)$$

Для замкненого кола кінці А і Б нашої ділянки необхідно сполучити.

Тоді  $\varphi_A = \varphi_B$ , а отже

$$I = E / (R_1 + R_2 + r),$$

що відповідатиме формулі

$$I = E / (R + r)$$

### **Приклади розв'язування задач**

**Задача 1.** Генератор постійної напруги  $U = 360$  В з'єднаний з електродвигуном мідним дром двопровідної лінії довжиною  $l = 300$  м. Обмотка двигуна має опір  $R = 2$  Ом і живиться струмом  $I = 8$  А.

**I рівень.** Визначити повну потужність, яку використовує двигун.

**II рівень.** Яка частина повної потужності двигуна перетворюється в механічну енергію?

**III рівень.** Яку мінімальну потужність повинен мати генератор, щоб забезпечити роботу двигуна?

**Розв'язання**

$$\begin{aligned}
 U &= 360 \text{ В} \\
 l &= 300 \text{ м} \\
 R &= 2 \text{ Ом} \\
 I &= 8 \text{ А} \\
 \rho &= 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{I} \quad & P - ? \\
 \text{II} \quad & P_{\text{м}}/P - ? \\
 \text{III} \quad & P_{\text{мін}} - ?
 \end{aligned}$$

**I рівень.** Повна потужність, яку використовує двигун

$$P = IU. \quad (1)$$

Обчислюємо:  $P = 8 \cdot 360 = 2880 \text{ Вт} = 2,88 \text{ кВт}$ .

**Відповідь:**  $P = 2,88 \text{ кВт}$ .

**II рівень.** Частину повної потужності  $P$ , яка перетворюється в механічну  $P_{\text{м}}$ , знайдемо через відношення  $P_{\text{м}}/P$ . Інша частина повної потужності  $P_{\text{т}}$  виділяється як тепло Джоуля-Ленца на опорі обмотки і визначається залежністю

$$P_{\text{т}} = I^2 R. \quad (2)$$

Механічна потужність  $P_{\text{м}} = P - P_{\text{т}}$ .

Отже,  $P_{\text{м}}/P = (P - P_{\text{т}})/P$ .

Підставляємо формули (1) і (2), тоді маємо:

$$\frac{P_{\text{м}}}{P} = \frac{IU - I^2 R}{IU} = \frac{U - IR}{U} = 1 - \frac{IR}{U}.$$

$$\text{Обчислюємо: } P_{\text{м}}/P = 1 - \frac{8 \cdot 2}{360} = 0,96.$$

У відсотках матимемо:  $P_{\text{м}}/P = 0,96 \cdot 100 \% = 96\%$ .

Одержаний результат визначає коефіцієнт корисної дії двигуна.

**Відповідь:**  $P_{\text{м}}/P = 96\%$ .

**III рівень.** Генератор повинен мати потужність, яка б забезпечила роботу двигуна і компенсувала теплові втрати на передачу електроенергії до двигуна.

Потужність теплових втрат, що припадають на один дріт, дорівнює  $I^2 R_1$ .

При двопровідній лінії ця потужність:

$$P_1 = 2I^2 R_1,$$

де  $R_1 = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi d^2 / 4} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$  — опір провідника довжиною  $l$ .

$$P_1 = 2I^2 \rho \frac{4l}{\pi d^2} = \frac{8\rho l}{\pi d^2} I^2.$$

Перевіряємо одиницю вимірювання:

$$[P_1] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} \text{А}^2 = \text{Ом} \cdot \text{А}^2 = \frac{\text{В}}{\text{А}} \text{А}^2 = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт}.$$

$$\text{Обчислюємо: } P_1 = \frac{8 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 300}{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} 8^2 \approx 208 \text{ Вт}.$$

Шукана мінімальна потужність генератора:

$$P_{\text{мін}} = P + P_1 = 2880 + 208 = 3088 \text{ Вт} = 3,088 \text{ кВт}.$$

**Відповідь:**  $P_{\text{мін}} = 3,088 \text{ кВт}$ .

**Задача 2.** Тролейбус масою  $m = 11 \text{ т}$  спочатку рухається по горизонтальному шляху зі швидкістю  $u = 36 \text{ км/год}$ , а потім рівномірно рухається вгору під кутом  $\alpha = 50^\circ$ , при цьому сила струму в обмотці його двигуна зростає на  $110 \text{ А}$ . Напруга, при якій працює двигун троллейбуса,  $U = 550 \text{ В}$ ; коефіцієнт корисної дії  $\eta = 80\%$ ; сумарний коефіцієнт опору під час руху троллейбуса  $k = 0,2$ .

**I рівень.** Визначити корисну потужність, яку розвиває двигун троллейбуса на горизонтальній ділянці шляху.

**II рівень.** Знайти силу струму в обмотці двигуна при швидкості руху 36 км/год.

**III рівень.** З якою швидкістю тролейбус рухається вгору?

**Розв'язання**

$$\begin{aligned} m &= 11 \text{ т} = 11 \cdot 10^3 \text{ кг} \\ v &= 36 \text{ км/год} = 10 \text{ м/с} \\ \alpha &= 5^\circ \\ \Delta I &= 110 \text{ А} \\ U &= 550 \text{ В} \\ \eta &= 80\% \\ k &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{I} & \quad P_k - ? \\ \text{II} & \quad I - ? \\ \text{III} & \quad v_x - ? \end{aligned}$$

**I рівень.** Корисна потужність двигуна тролейбуса при горизонтальному русі  $P_k = F_{\text{тяг}} v$ , де  $F_{\text{тяг}}$  — сила тяги.

При рівномірному горизонтальному русі  $F_{\text{тр}}$  дорівнює силі тертя  $F_{\text{тр}} = kmg$ .

Отже,

$$P_k = kmgv . (1)$$

Обчислюємо:

$$P_k = 0,2 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 10 = 215,6 \cdot 10^3 = 215,6 \text{ кВт} .$$

**Відповідь:**  $P_k = 215,6 \text{ кВт}$ .

**II рівень.** Силу струму визначимо з формули потужності струму:

$$I = P / U , \quad (2)$$

де  $P$  — загальна потужність, що пов'язана з корисною співвідношенням

$$P = P_k / \eta . \quad (3)$$

Підставимо вираз (3) у формулу (2) і використаємо рівність (1), тоді остаточно будемо мати:

$$I = P / U = P_k / (\eta U) = kmgv / (\eta U)$$

Обчислюємо:  $I = 0,2 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 10 / (0,8 \cdot 550) = 490 \text{ А}$ .

**Відповідь:**  $I = 490 \text{ А}$ .

**III рівень.** Корисна потужність двигуна тролейбуса при рівномірному русі вгору

$P_{\text{кор}} = F_x \cdot v$ , звідси:

$$v_x = \frac{P_{k1}}{F_{\text{тяг.1}}} , \quad (4)$$

при цьому

$$P_{k1} = \eta P_1 = \eta (I + \Delta I) U . \quad (5)$$

Рівняння руху тролейбуса в скалярній формі у проекції на напрям руху:

$$F_{\text{тяг.1}} = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0 ,$$

де сила тертя  $F_{\text{тр}} = kmg \cos \alpha$ , отже,

$$F_{\text{тяг.1}} = mg(\sin \alpha + k \cos \alpha) . \quad (6)$$

Підставивши вирази (5) і (6) у формулу (4), одержуємо:

$$v_x = \frac{0,8(490 + 110)550}{11 \cdot 10^3 \cdot 9,8(0,087 + 0,2 \cdot 0,996)} = 8,55 \text{ м/с} .$$

**Відповідь:**  $v_x = 8,55 \text{ м/с}$ .

**Задача 3.** Від джерела напруги  $U = 100 \text{ кВ}$  потрібно передати енергію на відстань  $l = 5 \text{ км}$  потужністю  $P = 5 \text{ МВт}$ . Допустима втрата напруги при передачі двопровідною лінією 1%.

**I рівень.** Яка найбільша сила струму в лінії передачі?

а) 5 А; б) 30 А; в) 50 А; г) 75 А.

**II рівень.** Визначити опір лінії.

**III рівень.** Знайти мінімальний переріз мідного проводу, який здатний забезпечити зазначені умови передачі електроенергії.



**Розв'язання**

$U = 100 \text{ кВ} = 1 \cdot 10^5 \text{ В}$   
 $l = 5 \text{ км} = 5 \cdot 10^3 \text{ м}$   
 $P = 5 \text{ МВт} = 5 \cdot 10^6 \text{ Вт}$   
 $n = 1\% = 0,01$   
 $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

I  $I - ?$   
 II  $R - ?$   
 III  $S - ?$

**I рівень.** Із формули потужності електричного струму для однорідної ділянки кола одержуємо:

$$I = P/U.$$

Обчислюємо:  $I = 5 \cdot 10^6 / 1 \cdot 10^5 = 50 \text{ А}$ .

**Відповідь:** Сила струму в лінії передачі дорівнює 50 А (в).

**II рівень.** Потужність, що передається, визначається залежністю  $P = UI$ , а втрати дорівнюють  $I^2 R$ . Отже,  $I^2 R = nUI$ , звідси:

$$R = \frac{nU}{I} = \frac{nU^2}{P}. \quad (1)$$

Обчислюємо:  $R = 0,01 (1 \cdot 10^5)^2 / (5 \cdot 10^6) = 20 \text{ Ом}$ .

**Відповідь:**  $R = 20 \text{ Ом}$ .

**III рівень.** Візьмемо до уваги, що лінія передачі складається з двох провідників довжиною  $l$  кожний, тому загальний опір  $R$  пропорційний  $2l$ . Отже,  $R = 2\rho l / S \rightarrow S = 2\rho l / R$ .

Підставимо у цей вираз значення опору з формули (1), одержимо:  $S = 2\rho P / (nU^2)$ .

Обчислюємо:

$$S = 2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 10^6 / [0,01 \cdot (1 \cdot 10^5)^2] = 8,5 \cdot 10^6 \text{ м}^2 = 8,5 \text{ мм}^2.$$

**Відповідь:**  $S = 8,5 \text{ мм}^2$ .

**Задача 4.** Через електролітичну ванну з розчином солі срібла, у якій катодом є 12 ложок, пропускають струм  $I = 1,8 \text{ А}$ . На поверхнях ложок, кожна з яких має площу  $S = 50 \text{ см}^2$ , утворюється шар срібла товщиною  $d = 57,6 \text{ мкм}$ . Валентність срібла  $n = 1$ , заряд електрона  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ , число Авогадро  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

**I рівень.** Визначити число Фарадея з точністю, яка відповідає точності заданих констант — заряду електрона і числа Авогадро.

**II рівень.** Знайти електрохімічний еквівалент срібла.

**III рівень.** За який час утворюється шар срібла зазначеної товщини?

**Розв'язання**

$N = 12$   
 $I = 1,8 \text{ А}$   
 $S = 50 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$   
 $d = 57,6 \text{ мкм} = 57,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$   
 $n = 1$   
 $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$   
 $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$   
 $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$   
 $M = 0,108 \text{ кг/моль}$

I  $F - ?$   
 II  $k - ?$   
 III  $t - ?$

**I рівень.** Число Фарадея  $F$  входить у формулу другого закону Фарадея для електролізу, а далі в об'єднаний закон, який стверджує, що електрохімічний еквівалент речовини  $k$  прямо пропорційний молярній масі речовини  $M$  і обернено пропорційний валентності цієї речовини:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n}. \quad (1)$$

Через  $F$  тут позначено добуток заряду електрона  $|e|$  на число Авогадро  $N_A$ :

$$F = |e| N_A.$$

Обчислюємо:  $F = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$ .

**Відповідь:**  $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$ .

**II рівень.** Для визначення електрохімічного еквівалента  $k$  срібла використаємо формулу (1) і числове значення числа Фарадея, одержане в розв'язку I рівня.

Обчислюємо:  $k = (0,108/1) / (9,65 \cdot 10^4) = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} = 1,12 \text{ мкг/Кл}$ .

**Відповідь:**  $k = 1,12 \text{ мкг/Кл}$ .

**III рівень.** Час утворення шару срібла дорівнює часу проходження струму через розчин солі срібла, який визначимо з об'єднаного закону Фарадея:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It,$$

звідси:

$$t = \frac{nFm}{MI}. \quad (2)$$

Масу  $m$  срібла, що відклалося на катоді з  $N$  ложок, виразимо через добуток  $\rho V$ , де  $V$  — загальний об'єм срібла, яке рівномірно розподілилося на  $N$  ложках шаром товщиною  $d$ , тобто  $V = NSd$ . Отже,

$$m = \rho NSd. \quad (3)$$

Підставивши вираз (3) у формулу (2), отримаємо:

$$t = \frac{nF\rho NSd}{MI}. \quad (4)$$

Перевіряємо розмірність:

$$[t] = \frac{Kл / моль \cdot кг / м^3 \cdot м^2 \cdot м}{кг / моль \cdot А} = \frac{Kл}{А} = \frac{А \cdot с}{А} = с.$$

Обчислення проведемо, використавши числові значення  $F$  із розв'язку I рівня:

$$t = \frac{1 \cdot 9,65 \cdot 10^4 \cdot 10,5 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 57,6 \cdot 10^{-6}}{0,108 \cdot 1,8} = 18013 \text{ с.}$$

Час у годинах:  $t = 18013 / 3600 = 5$  год.

Якщо використати поняття електрохімічного еквівалента, тобто скористатися формулою (1), то замість виразу (4) отримаємо:

$$t = \frac{\rho NSd}{kI}.$$

Розрахунок при числовому значенні  $k$  із розв'язку II рівня дає однаковий результат.

**Відповідь:**  $t = 5$  год.

**Задача 5.** У двох протилежних вершинах квадрата зі стороною  $a = 15$  см розміщені точкові позитивно заряджені тіла, заряд кожного з яких  $q = 0,1$  мкКл.

**I рівень.** Як зміниться сила взаємодії заряджених тіл, якщо їх опустити в рідкий діелектрик з діелектричною проникливістю  $\epsilon$ ?

а) не зміниться; б) збільшиться в  $\epsilon$  разів; в) зменшиться в  $\epsilon$  разів; г) правильної відповіді немає.

**II рівень.** Знайти напруженість електричного поля в точці, розміщеній на діагоналі квадрата на відстані  $l$  від одного із заряджених тіл, що дорівнює стороні квадрата.

**III рівень.** Визначити потенціал електричного поля в цій точці.

**Розв'язання**

$$a = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$q_1 = q_2 = q = 0,1 \text{ мкКл} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$l =$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$$\text{II} \quad E - ?$$

$$\text{III} \quad \varphi - ?$$

**I рівень.** Згідно із законом Кулона, сила взаємодії точкових зарядів обернено пропорційна діелектричній проникливості:

$$F = kq_1q_2/(\epsilon r^2).$$

Тому при зануренні заряджених тіл у рідкий діелектрик сила їх взаємодії зменшиться в  $\epsilon$  разів порівняно з силою взаємодії цих тіл у повітрі, для якого приблизно  $\epsilon = 1$ .

**Відповідь:** Сила взаємодії заряджених тіл при розміщенні їх у діелектрику зменшиться в  $\epsilon$  разів (в).

**II рівень.** Згідно з принципом суперпозиції електричних полів, шукана напруженість  $\vec{E}$  дорівнює геометричній сумі напруженостей  $\vec{E}_1$  і  $\vec{E}_2$  електричних полів, створених кожним із зарядів:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Розглянемо поле в точці  $O$ , що розміщена на діагоналі квадрата на відстані  $l$  від першого заряду. Вектори  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  спрямовані з точки  $O$  по діагоналі квадрата в протилежні боки, оскільки заряди однакового знаку.

Модулі напруженостей згідно з формулою за умови, що  $\epsilon = 1$ :

$$E_1 = kq_1 / r_1^2 \text{ і } E_2 = kq_2 / r_2^2.$$

Відстань  $r_2$  становить різницю між довжиною діагоналі квадрата і  $r_1$ :

$$r_2 = \sqrt{2} \cdot a - r_1.$$

Отже,  $r_2 < r_1$ , і оскільки  $q_1 = q_2 = q$ , то  $E_2 > E_1$  і результуючий вектор  $\vec{E}$  спрямований у бік першого заряду.

Модуль шуканого вектора:

$$E = E_2 - E_1 = \frac{kq}{r_2^2} - \frac{kq}{r_1^2} = \frac{kqa(\sqrt{2} \cdot r_1 - a)}{r_1^2(\sqrt{2} \cdot a - r_1)}. \quad (1)$$

Візьмемо до уваги, що  $r_1 = l = a$ , тоді попередній вираз набуде такого вигляду:

$$E = \frac{2kq}{(\sqrt{2} - 1)a^2}.$$

$$\text{Обчислюємо: } E = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{(1,41 - 1)0,15^2} = 195 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 195 \text{ кВ/м}.$$

**Відповідь:**  $E = 195 \text{ кВ/м}$ .

**III рівень.** Потенціал електростатичного поля в точці  $O$  створюється двома зарядами незалежно один від одного і визначається за принципом суперпозиції полів:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{kq}{r_1} + \frac{kq}{\sqrt{2} \cdot a - r_1} = \frac{\sqrt{2} \cdot kqa}{r_1(\sqrt{2} \cdot a - r_1)}.$$

Візьмемо до уваги, що за умовою  $r_1 = a$ , тоді

$$\varphi = \frac{\sqrt{2} \cdot kqa}{a(\sqrt{2} \cdot a - a)} = \frac{\sqrt{2} \cdot kq}{(\sqrt{2} - 1)a}. \quad (2)$$

$$\text{Обчислюємо: } \varphi = \frac{1,41 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{(1,41 - 1)0,15} = 20,63 \cdot 10^3 \text{ В} = 20,63 \text{ кВ}.$$

**Відповідь:**  $\varphi = 20,63 \text{ кВ}$ .

Аналіз розв'язку. 1. Як бачимо із формули (1), якщо  $\sqrt{2} \cdot r_1 - a = 0$ , то  $E = 0$ . Відстані  $r_1 = a / \sqrt{2}$  відповідає відстань  $r_2 = \sqrt{2} \cdot a - r_1 = \sqrt{2} \cdot a - a / \sqrt{2} = a / \sqrt{2}$ . Отримали, що  $r_1 = r_2$ , тобто в цьому випадку точка  $O$  розміщена на діагоналі квадрата на однаковій відстані від кожного заряду. Отже, у центрі квадрата напруженість електричного поля дорівнює нулю.

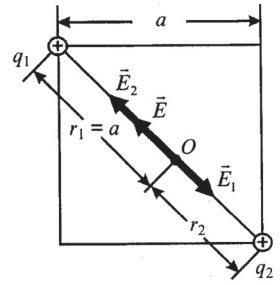
2. Із виразу (2) випливає, що в будь-якій точці на діагоналі квадрата потенціал електричного поля не дорівнює нулю.

**Задача 6.** Плоский повітряний конденсатор, відстань між пластинами якого  $d_0 = 1 \text{ мм}$ , зарядили до різниці потенціалів  $U_0 = 12 \text{ В}$  і від'єднали від джерела струму.

**I рівень.** Як зміниться ємність конденсатора, якщо відстань між пластинами?

а) збільшиться в 4 рази; б) зменшиться в 4 рази; в) залишиться без змін.

**II рівень.** Якою стане різниця потенціалів між пластинами, якщо відстань між ними зменшити в 10 разів і простір всередині конденсатора цілком заповнити парафіном?



**III рівень.** Як зміниться енергія електричного поля конденсатора при зазначених у II рівні змінах?

**Розв'язання**

$$\begin{aligned} U_0 &= 12 \text{ В} \\ d_0 &= 1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ d &= 4d_0 \\ d_1 &= d_0/10 = 0,1d_0 \\ \varepsilon &= 2C_0 = \varepsilon_0 S/d \end{aligned}$$

I	$C$ —?
II	$U_1$ —?
III	$W_1/W_0$ —?

**I рівень.** Використовуємо формулу для ємності плоского конденсатора:

$$C_0 = \varepsilon_0 S/d. \quad (1)$$

Якщо нова відстань  $d = 4d_0$ , то нова ємність

$$C_0 = \varepsilon_0 S/d = \varepsilon S/(4d_0).$$

Із відношення  $\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon_0 S/(4d_0)}{\varepsilon_0 S/d_0} = \frac{1}{4}$  виходить, що

$$C = C_0/4.$$

**Відповідь:** При збільшенні відстані між пластинами в 4 рази ємність конденсатора зменшиться в стільки ж разів (б).

**II рівень.** Оскільки конденсатор від'єднаний від джерела струму, заряд  $q$  на його обкладках, який дорівнює  $q = CU$ , при зміні відстані між пластинами залишається постійним. Тому можна записати, що  $q = C_0 U_0 = C_1 U_1$ , де  $C_1$  і  $U_1$  — відповідно ємність і напруга за нової відстані  $d_1$ . Звідси:

$$U_1 = C_0 U_0 / C_1. \quad (2)$$

Початкова ємність  $C_0 = \varepsilon_0 S/d_0$ .

Після зміни відстані до  $d_1$  і заповнення конденсатора парафіном ємність

$$C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon S/d_1. \quad (3)$$

Підставивши вирази (1) і (3) у формулу (2), отримуємо:

$$U_1 = \frac{\varepsilon_0 S/d_0}{\varepsilon_0 \varepsilon S/d_1} U_0 = \frac{d_1}{\varepsilon d_0} U_0 = \frac{0,1d_0}{\varepsilon d_0} U_0 = \frac{U_0}{10\varepsilon}.$$

Обчислюємо:  $U_1 = \frac{12}{10 \cdot 2} = 0,6 \text{ В}.$

**Відповідь:**  $U_1 = 0,6 \text{ В}.$

**III рівень.** У зазначених умовах заряд на пластинах конденсатора не зміниться при зміні відстані  $d_0$ . Тому з трьох формул для визначення енергії конденсатора вибираємо другу:

$$W = \frac{q^2}{2C}.$$

При початковій відстані  $d_0$  енергія повітряного конденсатора —  $W_0 = \frac{q^2}{2C_0}$ .

Після зміни відстані до  $d_1$  і заповнення парафіном енергія конденсатора —  $W_1 = \frac{q^2}{2C_1}$ .

Отже, шукане відношення:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{q^2/(2C_1)}{q^2/(2C_0)} = \frac{C_0}{C_1}. \quad (4)$$

Підставляємо формули (1) і (3) у відношення (4), одержуємо:

$$\frac{W_1}{W_0} = \frac{\varepsilon_0 S/d_0}{\varepsilon_0 \varepsilon S/d_0} = \frac{d_1}{\varepsilon d_0}. \quad (5)$$

Оскільки  $d_1 = 0,1d_0$ , то остаточно

$$\frac{W_1}{W_0} = \frac{0,1d_0}{\varepsilon d_0} = \frac{1}{10\varepsilon}.$$

Обчислюємо:  $W_1/W_0 = 1/(10 \cdot 2) = 0,05.$

**Відповідь:**  $W_1/W_0 = 0,05.$

**Задача 7.** При під'єднанні джерела струму з е.р.с  $\mathcal{E} = 8$  В до зовнішнього опору, що складається з двох паралельно з'єднаних резисторів з опором  $R_1 = 10$  Ом і  $R_2 = 2,5$  Ом, сила струму в колі  $I = 2$  А.

**I рівень.** Визначити силу струму в кожному резисторі окремо.

**II рівень.** Знайти внутрішній опір джерела струму.

**III рівень.** Визначити струм короткого замикання.

**Розв'язання**

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 8 \text{ В} \\ R_1 &= 10 \text{ Ом} \\ R_2 &= 2,5 \text{ Ом} \\ I &= 2 \text{ А} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{I} \quad I_1 &= ? \\ I_2 &= ? \\ \text{II} \quad r &= ? \\ \text{III} \quad I_{\text{кз}} &= ? \end{aligned}$$

**I рівень.** У вузлі  $A$  загальний струм  $I$  розділяється на струми  $I_1$  і  $I_2$  обернено пропорційні опорам  $R_1$  і  $R_2$ .

Отже,

$$\left. \begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ I_1 / I_2 &= R_2 / R_1 \end{aligned} \right\} (1)$$

(це відношення випливає з умови, що зниження напруг на паралельно з'єднаних резисторах однакове:  $I_1 R_1 = I_2 R_2$ ). Розв'язуючи систему рівнянь (1) відносно шуканих струмів, отримаємо:

$$I_1 = IR_2 / (R_1 + R_2), \quad I_2 = IR_1 / (R_1 + R_2).$$

Обчислюємо:

$$I_1 = 2 \cdot 2,5 / (10 + 2,5) = 0,4 \text{ А};$$

$$I_2 = 2 \cdot 10 / (10 + 2,5) = 1,6 \text{ А}.$$

**Відповідь:**  $I_1 = 0,4$  А,  $I_2 = 1,6$  А.

**II рівень.** Внутрішній опір джерела струму визначимо із закону Ома для повного кола:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (2)$$

де  $R$  у цьому випадку — загальний опір двох паралельно сполучених резисторів:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3)$$

$$\text{Із формули (2) маємо: } r = \frac{\mathcal{E} - IR}{I} = \frac{\mathcal{E}}{I} - R.$$

Підставляємо у це рівняння вираз (3), тоді остаточно отримаємо:

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I} - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (4)$$

$$\text{Обчислюємо: } r = \frac{8}{2} - \frac{10 \cdot 2,5}{10 + 2,5} = 2 \text{ Ом}.$$

**Відповідь:**  $r = 2$  Ом.

**III рівень.** Струмів короткого замикання  $I_{\text{кз}}$  відповідає дуже малий опір зовнішнього кола. Запишемо закон Ома для повного кола:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

приймемо, що  $R = 0$ , тоді:

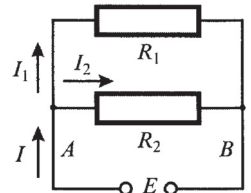
$$I = I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}. \quad (5)$$

Підставимо вираз (4) у рівняння (5), тоді матимемо:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}/I - R_1 R_2 / (R_1 + R_2)} = \frac{IE(R_1 + R_2)}{\mathcal{E}(R_1 + R_2) - I R_1 R_2}.$$

$$\text{Обчислюємо: } I_{\text{кз}} = \frac{2 \cdot 8(10 + 2,5)}{8(10 + 2,5) - 2 \cdot 10 \cdot 2,5} = 4 \text{ А}.$$

**Відповідь:**  $I_{\text{кз}} = 4$  А.



**Задача 8.** До кола, що складається з трьох послідовно з'єднаних резисторів, прикладена напруга  $U = 12$  В. Опір першого резистора  $R_1 = 2$  Ом, другого —  $R_2 = 3$  Ом, напруга на кінцях третього резистора  $U_3 = 2$  В.

**I рівень.** Яка з поданих нижче формул визначає напругу (спад напруги) при одночасній дії кулонівських і сторонніх сил?

а)  $U = \phi_1 - \phi_2$ ; б)  $U = E(EPC)$ ; в)  $U = (\phi_1 + \phi_2) + E$ ; г)  $U = IR$ ; д)  $U = Ed$ .

**II рівень.** Визначити силу струму в колі.

**III рівень.** Яка потужність у колі?

**Розв'язання**

$U = 12$  В  
 $R_1 = 2$  Ом  
 $R_2 = 3$  Ом  
 $U_3 = 2$  В

II  $I = ?$   
 III  $P = ?$

**I рівень.** За означенням напруга — величина, що чисельно дорівнює роботі всіх (сторонніх і кулонівських) сил при переміщенні одиничного позитивного заряду через задану ділянку кола:

$$U = \frac{A_k + A_{cn}}{q} \quad (1)$$

Робота кулонівських сил:

$$A_k = q(\phi_1 - \phi_2) \quad (2)$$

Робота сторонніх сил:

$$A_{cm} = qE \quad (3)$$

Підставимо рівності (2) і (3) у рівняння (1), отримаємо:

$$U = (\phi_1 - \phi_2) + E$$

**Відповідь:** Напруга на ділянці кола при одночасній дії кулонівських і сторонніх сил дорівнює сумі різниці потенціалів  $\phi_1 - \phi_2$  і електрорушійної сили  $E$  (Варіант «в»).

**II рівень.** Візьмемо до уваги, що при послідовному сполученні резисторів загальна напруга в зовнішньому колі  $U$  дорівнює сумі спадів напруг на кожному резисторі:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Згідно із законом Ома запишемо:

$$U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2$$

Отже,

$$U = IR_1 + IR_2 + U_3 \rightarrow I = \frac{U - U_3}{R_1 + R_2}$$

Обчислюємо:  $I = \frac{12 - 2}{2 + 3} = 2$  А.

**Відповідь:**  $I = 2$  А.

**III рівень.** Потужність  $P = IU$ , де згідно з розв'язком II рівня  $I = \frac{U - U_3}{R_1 + R_2}$ . Тоді  $P = \frac{(U - U_3)U}{R_1 + R_2}$ .

Обчислюємо:  $P = \frac{(12 - 2)12}{2 + 3} = 24$  Вт.

**Відповідь:**  $P = 24$  Вт.

### Задачі для самостійного розв'язування

1. Чотири однакові заряди  $+q$  розміщені у вершинах квадрата зі стороною  $a$ . Який заряд  $-q$  необхідно помістити в центрі квадрата, щоб система перебувала у рівновазі?
2. Точковий заряд  $q$  у гасі ( $\epsilon = 2$ ) на відстані  $2$  м створює поле, напруженість якого  $9$  В/м. Визначити заряд.
3. Невелика кулька масою  $40$  мг, яка має заряд  $q = 2 \cdot 10^{-9}$  Кл, рухається зі швидкістю  $0,1$  м/с. На яку відстань у вакуумі може наблизитись кулька до додатного точкового заряду  $4 \cdot 10^{-9}$  Кл?



4. Дві кульки з зарядами  $13,3 \cdot 10^{-7}$  і  $6,7 \cdot 10^{-7}$  Кл знаходяться на відстані 40 см один від другого. Яку роботу необхідно виконати, щоб зблизити їх до відстані 25 см?
5. Конденсатор електроємністю 3 мкФ заряджений до напруги 300 В, а конденсатор ємністю 2 мкФ — до напруги 200 В. Обидва конденсатори сполучені після зарядки паралельно однойменними полюсами. Яка напруга встановиться на обкладках конденсатора після їх сполучення?
6. У коло з напругою 220 В необхідно ввімкнути 15 лампочок, кожна з яких має опір 24 Ом і розрахована на напругу 12 В. Який додатковий опір необхідно ввімкнути послідовно до лампочок? Який струм проходить через лампи?
7. Від електростанції до споживачів на відстані 3 км необхідно передати електричний струм потужністю 7 МВт. Початок двопровідної лінії знаходиться під напругою 140 кВ. Втрати на лінії не повинні перевищувати 5% передаваної енергії. Визначити площу перерізу мідних проводів для такої лінії.
8. Два однакових джерела зі сталою е.р.с вмикають: одне — у зовнішнє коло з опором  $R_1$ , друге — у зовнішнє коло з опором  $R_2$ . На цих ділянках за однаковий час виділяється одна і та сама кількість тепла. Знайти внутрішній опір кожного із джерел струму.
9. Провід довжиною 0,15 м, по якому проходить струм 8 А, перпендикулярний до вектора індукції однорідного магнітного поля, модуль якого 0,4 Тл. Знайти роботу, яка виконується при переміщенні провідника на 0,25 м в напрямі дії сили Ампера.
10. Знайти магнітну індукцію, якщо при переміщенні провідника довжиною 2 м під кутом  $30^\circ$  до силових ліній магнітного поля зі швидкістю 5 м/с у ньому виникає е.р.с 0,01 В.
11. Котушка з залізним осердям має індуктивність 2 Гн і активний опір обмотки 10 Ом, ввімкнена спочатку в мережу постійного струму з напругою 20 В, а після цього в мережу змінного струму з ефективною напругою 20 В і частотою 400 Гц. Обчислити силу струму у котушці в першому випадку і максимальну силу струму в котушці у другому випадку.
12. Сила струму у первинній обмотці трансформатора 15 кА, а напруга на її кінцях 11 кВ. Сила струму у вторинній обмотці 1440 А і напруга на її кінцях 110 кВ. Знайти коефіцієнт корисної дії трансформатора.

## КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

### *Механічні коливання і хвилі* *Теоретичні положення, основні формули*

Коливальні і хвильові процеси різної фізичної природи формально мають багато спільного і розглядаються на базі одних і тих самих математичних методів.

**Гармонічні коливання** виникають під дією пружних або квазіпружних (подібних до пружних) сил:

$$F_{np} = -kx, \quad (1)$$

де  $x$  — відхилення тіла від положення рівноваги.

Рух кульки, підвішеної на пружині, відбувається уздовж однієї прямої. Тоді за законом Ньютона маємо:

$$ma = -kx. \quad (2)$$

Це рівняння динаміки гармонічного коливання. Сила пружності змінюється із збільшенням відхилення від рівноважного положення, а отже рух кульки нерівномірний.

**Зміщення** при гармонічному коливанні визначається за формулою

$$x = A \sin(\omega t + \phi), \quad (3)$$

де  $x$  — зміщення,  $\omega$  — **циклічна частота** коливань,  $A$  — максимальне відхилення коливної точки від положення рівноваги і називається **амплітудою коливання**. Аргумент синуса ( $\omega t + \phi$ ) називають фазою коливання. **Фаза** визначає відхилення від положення рівноваги у момент часу  $t$ ,

оскільки задає значення синуса в цей момент (фаза в розумінні стадія відхилення від точки  $x = 0$ ), а  $\phi$  — початкова фаза. Зв'язок циклічної частоти з  $m$  і  $k$  має вигляд:

$$\omega = \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (4)$$

Коли фаза зміниться на  $2\pi$ , то коливне тіло здійснить повний коливний цикл. Час цього циклу визначиться з умови  $\omega(t+T) = \omega t + 2\pi$ , звідки

$$T = 2\pi / \omega. \quad (5)$$

Тривалість циклу називають **періодом коливань**, а число коливань за одиницю часу  $\nu = 1/T$  — **частотою**.

Період і частота коливань визначаються так:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (6)$$

**Період коливань є власною характеристикою коливного тіла, а амплітуда і початкова фаза залежать від зовнішніх умов, які зумовили ці коливання.**

Кінематичне визначення гармонічних коливань є більш повним, воно містить відомості про амплітуду, фазу, хоча динамічне визначення теж вірне.

Однак необов'язково гармонічні коливання відбуваються уздовж однієї прямої. Незалежно від виду траєкторії, аналіз гармонічних коливань зручно проводити на основі їх співставлення з обертальним рухом, тобто рівномірним обертанням тіла  $m$  по колу радіуса  $R$  з кутовою швидкістю  $\omega$ . Тоді амплітуду можна ототожнити з радіусом обертання, циклічну частоту — з його кутовою швидкістю, фазу — з кутом відхилення тіла від горизонтальної осі. Тут коливання відбуваються під дією повертаючої сили, сили, спрямованої до положення рівноваги, яка зростає в міру відхилення тіла від положення рівноваги. Цю силу називають **квазіпружною**. Використавши таку аналогію, можна знайти швидкість і прискорення при гармонічному коливанні:

$$x = A \sin(\omega t + \phi), \quad v = \omega A \cos(\omega t + \phi), \quad a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi). \quad (7)$$

Здійснюючи коливання, матеріальна точка має **кінетичну енергію**  $E_k = mv^2 / 2$ , або враховуючи вираз для швидкості, маємо:

$$E_k = \frac{mA^2\omega^2 \cos^2(\omega t + \phi_0)}{2} = 2\pi^2\nu^2 A^2 m \cos^2(\omega t + \phi_0). \quad (8)$$

**У крайніх положеннях точки кінетична енергія її дорівнює нулеві, а у момент проходження положення рівноваги — максимальна.**

**Потенціальна енергія** коливної точки дорівнює  $E_n = kx^2 / 2$ , або враховуючи вираз для зміщення, отримаємо:

$$E_n = \frac{kx^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2 \sin^2(\omega t + \phi_0)}{2} = 2\pi^2\nu^2 A^2 m \sin^2(\omega t + \phi_0). \quad (9)$$

**Потенціальна енергія коливної точки буде максимальною у крайніх положеннях, а у положенні рівноваги вона дорівнюватиме нулеві.**

**Повна енергія** визначається сумою кінетичної і потенціальної енергій:  $E = E_k + E_n$ . Знаємо, що  $\sin^2(\omega t + \phi_0) + \cos^2(\omega t + \phi_0) = 1$ , тоді

$$E = 2\pi^2 A^2 m \nu^2 = \frac{kA^2}{2}, \quad \text{де } k = m\omega^2. \quad (10)$$

У реальних коливальних системах за рахунок зміни енергії коливального руху виконується робота проти сил тертя. Тому з часом амплітуда вільних коливань зменшується. Коли ж запас енергії вичерпується, коливання припиняються. Коливання, амплітуда яких з часом зменшується, називають **згасаючими**. Інколи цей процес посилюють за допомогою спеціальних пристроїв. Наприклад, у транспортних засобах використовують амортизатори, які гасять коливання кузова, зумовлені нерівностями дороги.

Для того, щоб коливання в системі не згасали, необхідно компенсувати втрати енергії, спричинені дією сили тертя. Енергію в системі потрібно поповнювати періодично. Це досягається періодичною дією на систему зовнішньої сили. Наприклад, коливання тягарця, підвішеного на пружині, можна підтримувати як завгодно довго, якщо підштовхувати тягарець через рівні проміжки часу.

Рівняння згасаючого коливального руху матиме вигляд:  $ma = F + F_{\text{тр}}$ , де  $F$  — сила, яка зумовлює коливання і дорівнює  $F = -kx$ .

Для підтримання згасаючих коливань, за умови існування тертя, повинна діяти на тіло зовнішня періодична сила. Такі коливання називають **вимушеними**.

Зі зміною частоти  $\omega$  зовнішньої сили змінюється амплітуда вимушених коливань. Якщо ця частота наближається до частоти вільних коливань системи  $\omega_0$ , то амплітуда вимушених коливань збільшується, досягаючи максимуму, за умови, що  $\omega = \omega_0$ . Зі збільшенням частоти ( $\omega > \omega_0$ ) амплітуда вимушених коливань зменшується.

Явище наростання амплітуди вимушених коливань за умови, що частота зовнішньої періодичної сили наближається до частоти власних коливань, називається **резонансом**.

*Явище резонансу може бути корисним, оскільки воно дає змогу навіть за допомогою малої сили суттєво збільшити амплітуду, наприклад, укладання бетону за допомогою вібраторів, що використовується при будівництві фундаментів.*

*Резонанс може бути шкідливим і небезпечним. З метою запобігання цьому явищу слід заздалегідь обчислювати частоти коливань різних машин, транспортних засобів, фундаментів тощо, щоб за звичайних умов їх експлуатації не виникав резонанс.*

*У повсякденному житті можна спостерігати, як в кімнаті бряжчать шибки під час проходження по вулиці важкого вантажного автомобіля. Це означає, що власні частоти коливань шибек дорівнюють частоті коливань деталей автомобіля.*

Одним із видів незгасаючих коливань є **автоколивання**. Це коливання, які підтримуються внутрішніми джерелами енергії системи, коли не діє зовнішня періодична сила. Наприклад, настінний годинник з маятником або наручний механічний годинник — це механічні автоколивальні системи.

*У годинниках потенціальна енергія тягарця (або стиснутої пружини) поступово, окремими порціями передається маятникові і компенсує втрати на тертя. Можна спостерігати автоколивання струни під дією смичка, голосових зв'язок під час розмови або співу.*

Матеріальна точка, підвішена на довгій нерозтяжній нитці, називається **математичним маятником**. Якщо розміри тіла, підвішеного на нитці, набагато менші від довжини нитки, а деформація нитки дуже мала, то таке тіло можна вважати математичним маятником (рис. 1).

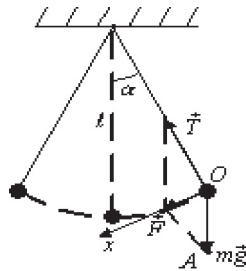


Рис. 1

На маятник діятимуть (якщо знехтувати силами тертя і опору повітря) сила тяжіння  $m\vec{g}$  і сила натягу нитки  $\vec{T}$ , рівнодійна яких  $\vec{F}$  й надаватиме тілу прискорення. Це прискорення напрямлене в бік положення рівноваги. Модуль рівнодійної цих сил дорівнює

$$F = mgsin\alpha.$$

У разі малих кутів відхилення  $\sin\alpha \approx x/l$ . Враховуючи, що напрям зміщення і повертаючої сили протилежні, отримаємо  $F = -mg \frac{x}{l}$ , де  $x$  — абсолютне значення зміщення маятника від

положення рівноваги. Оскільки за другим законом Ньютона  $F = ma$ , то прискорення маятника

$a = -\frac{g}{l}x = -\omega^2 x$ , а циклічна частота буде:

$$\omega^2 = \frac{g}{l} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (11)$$

**Період коливань** математичного маятника

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (12)$$

**Бачимо, що період коливань математичного маятника не залежить від маси тіла, а визначається лише довжиною підвісу і прискоренням вільного падіння.**

Якщо коливання здійснює не коливна точка, а частинка будь-якого тіла або середовища, то коливний рух передається від точки до точки, поширюючись від місця виникнення. В цьому випадку ми маємо **біжучу хвилю**.

Хвильові процеси можуть мати різну фізичну природу: світло — це електромагнітні хвилі, звук — механічні хвилі, які поширюються у пружному середовищі. Проте усі вони мають однаковий характер поширення збудження, яке передається від точки до точки простору по «ланцюжку».

Поширення коливань — це **хвильовий процес**. **Пружні хвилі** — це поширення пружних деформацій, які виникають завдяки зв'язкам між частинками середовища. Зміщення однієї частинки від положення рівноваги зумовлює зміщення сусідніх, і цей процес поширюється у просторі з певною швидкістю.

Чим далі знаходиться частинка від джерела, тим більше часу потрібно для того, щоб хвиля надійшла до цієї точки, і тим пізніше почнуться в ній коливання. Запізнення в часі буде  $t_1 = \frac{x}{v}$ .

Час коливання даної частинки середовища буде:  $t - t_1 = t - \frac{x}{v}$ .

Тоді **рівняння плоскої хвилі** дає можливість знайти зміщення будь-якої точки, яка приймає участь у хвильовому процесі в довільний момент часу і матиме вигляд:

$$S = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right). \quad (13)$$

Аргумент при косинусі

$$\phi = \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \quad (14)$$

називають **фазою хвилі**. **Довжиною хвилі**  $\lambda$  називають відстань між двома точками, фази яких в один і той самий момент часу різняться на  $2\pi$ . Довжина хвилі визначається:

$$\lambda = T v = \frac{v}{\nu}, \quad (15)$$

де  $v$  — швидкість поширення хвилі.

Розрізняють хвилі поперечні і поздовжні. **Поперечними хвилями** називаються хвилі, що виникають, коли частинки пружного середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі (рис. 2 а).

**Поздовжні хвилі** — це хвилі, які виникають, коли частинки пружного середовища коливаються в напрямі поширення хвилі (рис. 2 б).

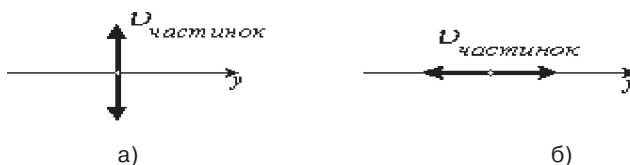


Рис. 2

**Швидкість** поширення хвилі дорівнює:  $v = \lambda\nu$ , або  $v = \frac{\lambda}{T}$ .

Хвилі, які мають однакову частоту і постійну різницю фаз, називаються **когерентними**.

Явище накладання когерентних хвиль, в результаті чого відбувається підсилення або послаблення результуючої хвилі, залежить від співвідношення між фазами цих хвиль і називається **інтерференцією** хвиль.

Якщо різниця ходу двох когерентних хвиль, які збуджують коливання в деякій точці, дорівнює парному числу півхвиль, то амплітуда коливань буде максимальною (**умова максимуму**):

$$\Delta l = k\lambda. \quad (16)$$

**Умовою мінімуму** інтерференції є:

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (17)$$

Якщо розміри предметів досить малі порівняно з довжиною хвилі, то хвиля огинає перешкоду, тобто відхиляється від прямолінійного поширення. Таке явище називається **дифракцією** хвиль.

*При поширенні хвиль передається енергія, проте не відбувається передача речовини.*

**Звук** — коливання частинок пружного середовища, які поширюються у вигляді хвиль і сприймаються органами слуху людини (частота від 16 до 20000 Гц).

**Швидкість поширення звукових хвиль** залежить від властивостей середовища  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ , де  $E$  — модуль пружності середовища (**модуль Юнга**), а  $\rho$  — густина середовища.

У повітрі швидкість звуку за нормальних умов становить 332 м/с. Під час зростання температури повітря швидкість звуку збільшується приблизно на 0,6 м/с на кожен градус.

Звук характеризується частотою, інтенсивністю (силою), звуковим тиском й акустичним спектром (фізичні характеристики). Енергію, яка переноситься звуковою хвилею за одиницю часу через одиничну площу, перпендикулярну до напрямку поширення хвиль, називають **інтенсивністю (силою)** звуку:

$$I = \frac{E}{tS} \quad [I] = \text{Дж/м}^2\text{с} = \text{Вт/м}^2. \quad (18)$$

**Звуковий тиск** — ефективне значення тиску надлишкового над атмосферним, який утворюється в місцях згущення частинок середовища у процесі поширення хвилі.

Інтенсивність (сила) звуку пов'язана зі звуковим тиском співвідношенням:

$$I = \frac{P_{\text{сф}}^2}{2\rho c}, \quad (19)$$

де  $\rho$  — густина середовища,  $c$  — швидкість поширення хвилі. Добуток  $\rho c$  називається звуковим опором (імпедансом).

**Акустичний спектр** — результат розкладання складного тону на прості гармонічні коливання із зазначеними частотами та інтенсивностями. Коливання з найменшою частотою ( $\nu_0$ ) у спектрі називають **основним тоном**, а усі інші — **обертонами** з частотами  $2\nu_0$ ,  $3\nu_0$  і т.д.

*Фізичні характеристики звуку називають об'єктивними; їх можна виміряти приладами, і вони не залежать від сприйняття людиною.*

Тони, які сприймає вухо людини, відрізняються за висотою, тембром та гучністю. Це суб'єктивні характеристики звуку.

**Гучність** звуку залежить від інтенсивності та частоти. Тони з різною частотою викликають якісно різні звукові відчуття. Якість звуку, яка визначається частотою його коливань, називається **висотою тону**; чим більша частота, тим вищий тон.

*Висота тону залежить від ступеня напруги голосових зв'язок, їх форми, довжини коливної частини.*

*Досвідчені водії оцінюють тиск повітря у балоні колеса автомобіля за звуком, що одержують при ударі по балону металевим предметом: чим більший тиск повітря у балоні, чим вищий тон.*

*Автослюсарі, перевіряючи роботу двигуна автомобіля, інколи прикладають вухо до одного кінця ручки молотка, а інший — до різних частин двигуна. В даному випадку вони використовують властивість звуку краще розповсюджуватись у твердому тілі (дереву), ніж у повітрі.*

Тембр звуку визначається його частотним складом, тобто залежить від кількості обертонів та їх інтенсивності.

**Тембр** — це забарвлення звуку, яке створюється в порожнинах гортані, носа, грудей та в дихальному горлі. Кожна з цих порожнин діє як резонатор, підсилюючи характерні для певної людини частоти і створюючи індивідуальний тембр.

**Чутливість вуха** характеризує його здатність до адаптації і залежить від частоти та інтенсивності (сили) звуку. Чутливість вуха людини максимальна в інтервалі частот 1000—3000 Гц і характеризується порогом чутності (для отологічно здорового вуха це інтенсивність  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>).

**Ультразвук** — це механічні коливання з частотою, більшою від 20 кГц. Ультразвукові коливання поширюються у середовищі зі сталою швидкістю, рівною швидкості звуку.

Ультразвукова хвиля порівняно із звуковою має більшу інтенсивність за рахунок більшої частоти коливань. Завдяки спрямованості ультразвукових хвиль і їх відбиванню від перешкод можна знайти відстань до предмета:

$$s = \frac{vt}{2}. \quad (20)$$

**Звуколокатори** (їх називають також ехолокаторами) дають змогу виявити і визначити місцезнаходження дефектів у виробках (порожнечі, тріщини, сторонні включення).

Ультразвукові хвилі великої інтенсивності використовують для виготовлення порошків та емульсій з незмішуваних речовин тощо.

### Електромагнітні коливання і хвилі. Змінний струм

Електромагнітні явища лежать в основі радіотехніки, автоматики і телемеханіки, тому ця тема важлива в плані глибокого розуміння і вивчення.

Теорія Максвелла описує взаємозв'язок електромагнітних полів з їх джерелами: електричними зарядами і струмами. В електростатиці заряди розглядають не лише як джерела електричного поля, але і як індикатори, які зазнають дію цього поля.

Так само у магнітостатиці струми є джерелами магнітного поля і одночасно зазнають дію цього поля. У цьому й полягає взаємодія зарядів і струмів з полями.

Електростатичне і магнітостатичне поля відрізняються між собою. Силкові лінії першого не замкнені, починаються на додатних і закінчуються на від'ємних зарядах, або йдуть у безмежність. Силкові лінії магнітних полів замкнені і ці поля називають вихровими. Максвелл встановив, що вихровий характер можуть мати й електричні поля; змінне в часі магнітне поле породжує вихрове електричне поле, причому зв'язок цих полів існує у кожній точці простору.

Згідно з законом Фарадея, у замкненому контурі змінне магнітне поле індукує е.р.с, яка пропорційна швидкості зміни магнітного потоку через площу, охоплену контуром. Ця електрорушійна сила зумовлює виникнення електричного струму (впорядкованого руху зарядів). Такий впорядкований рух можливий за впливу електричного поля, тобто струм — це вторинне явище, зумовлене електричним полем, яке, у свою чергу, виникає внаслідок зміни магнітного поля. Струм дає змогу виявити появу електричного поля.

Отже, електричне поле зумовлюється змінним магнітним полем за відсутності провідника.

Змінне в часі магнітне поле породжує вихрове електричне поле, тобто силкові лінії цього електричного поля замкнені і охоплюють лінії магнітного поля.

Змінне в часі електричне поле зумовлює вихрове магнітне поле.

Змінні в часі електричне і магнітне поля взаємно породжують одне одного і цей процес може поширюватись від точки до точки простору, збуджуючи **електромагнітні хвилі** (рис. 3)

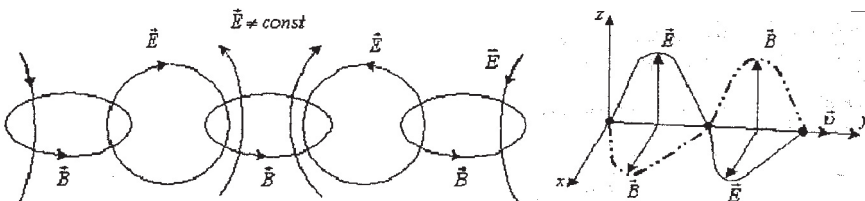


Рис. 3



Джерелом електромагнітних хвиль є **коливальний контур**, який складається із конденсатора і котушки індуктивності (рис. 4).

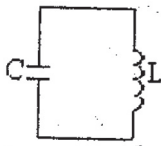


Рис. 4

Період і частоту коливань в контурі обчислюють за формулою:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 1/f. \quad (21)$$

Відстань між пластинами конденсатора дуже мала, тому випромінювання електромагнітних хвиль буде незначним.

Створене всередині котушки магнітне поле поверне енергію в контур завдяки явищу самоіндукції.

*По-іншому буде, якщо розвести обкладки конденсатора. Тоді електричне поле виникне на більшому просторі між кінцями відкритого коливального контуру, який буде випромінювати значну частину енергії у простір.*

Для утворення інтенсивних електромагнітних хвиль необхідно створити електромагнітні коливання досить високої частоти. Коливання високої частоти, яка значно перевищує частоту промислового струму (50 Гц), можна отримати за допомогою коливального контуру, частота власних коливань якого буде тим більшою, чим менша індуктивність котушки і ємність конденсатора:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (22)$$

Для отримання електромагнітних хвиль Г. Герц використав простий пристрій, який називають вібратором Герца. Цей пристрій є **відкритим коливальним контуром**.

До відкритого коливального контуру можна перейти від закритого, якщо поступово збільшувати відстань між пластинами конденсатора, одночасно зменшуючи їх площу і кількість витків у котушці (рис. 5). Це і є відкритий коливальний контур, значення ємності та індуктивності малі і тому частота коливань досить велика.

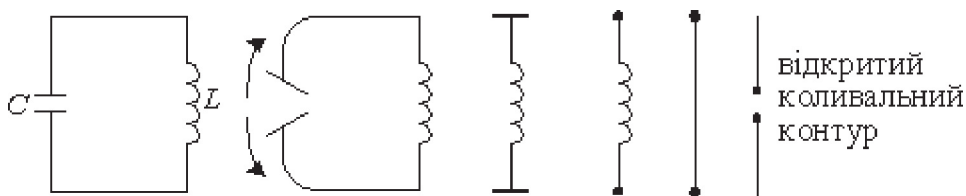


Рис. 5

Можливе й зворотнє явище: відкритий коливальний контур здатний не лише випромінювати, але й поглинати електромагнітну енергію з навколишнього простору.

Цю роль виконують передавальні і приймальні антени.

*Електромагнітні хвилі переносять енергію. Оскільки джерелами електромагнітних полів є змінні струми, то вони й дають енергію електромагнітним хвилям. Ця енергія називається енергією електромагнітного випромінювання. За допомогою електромагнітних хвиль інтенсивність випромінювання зростає із зростанням частоти змінних струмів, які породжують випромінювання. Втрати енергії на випромінювання будуть меншими, якщо менша частота коливань і компактний контур.*

У замкненому електричному контурі електричне поле сконцентровано між пластинами конденсатора, а магнітне — всередині котушки індуктивності.

Досліди Герца і пізніше проведені експерименти показали, що електромагнітні хвилі в однорідному середовищі поширюються рівномірно і прямолінійно, відбиваються діелектриками, а ще краще провідниками (при цьому виконуються закони відбивання хвиль), заломлюються, проявляють здатність дифрагувати і інтерферувати; вони є поляризованими. Властивості електромагнітних хвиль виявились такими ж, як і властивості хвиль будь-якої іншої природи.

*Різні види випромінювань (радіохвилі, інфрачервоні хвилі, видиме світло, ультрафіолетове і рентгенівське випромінювання, g-випромінювання) відрізняються частотами, поширюються з однаковою швидкістю, утворюються при різних фізичних процесах, мають різні фізичні і біологічні властивості.*

*Інфрачервоне або теплове випромінювання дає нагріта піч, будь-яке вогнище, тому це випромінювання використовується для приготування їжі, сушіння овочів і фруктів.*

*Метод виявлення дефектів у виливках, а також перевірка якості зварних швів проводиться також з використанням рентгенівського випромінювання (рентгенівська дефектоскопія).*

*На людське тіло дуже сильний ефект чинять високочастотні, ультрависокочастотні і надвисокочастотні хвилі.*

*Біологічна активність радіохвиль (як наслідок великого поглинання) зростає із зменшенням довжини хвилі. Однак зменшення довжини хвилі від 10 до 1 см децю зменшує біологічний ефект, оскільки випромінювання поглинають не всі тканини організму, а лише поверхневі (шкіра, підшкірна клітковина). Значна частина енергії радіохвиль у тканинах перетворюється в тепло, що пояснюється коливаннями іонів та молекул води, які в них містяться (тепловий ефект випромінювання).*

**Вільні електромагнітні коливання** в контурі зазвичай швидко загасають через втрати тепла на активному опорі котушки і на випромінювання електромагнітних хвиль, тому частіше використовують **вимушені електромагнітні коливання**, які виникають під дією зовнішньої періодичної е.р.с. Змінна е.р.с. виникає, наприклад, в дротяній рамці із кількох витків, під час її обертання в однорідному магнітному полі. Виникнення е.р.с. індукції в цьому разі зумовлене дією на рухомі електрони сили з боку магнітного поля. Вона викликає переміщення електронів у провідниках. Оскільки магнітний потік, який пронизує рамку, періодично змінюється згідно із законом електромагнітної індукції, то періодично змінюється і е.р.с. індукції. Під час замикання в колі змінна е.р.с. створює **змінний струм**. Значення такого струму і напруги в колі змінюються з часом за гармонічним законом. Ці періодичні зміни викликають періодичні коливання швидкості впорядкованого руху заряджених частинок.

Якщо сила струму з часом змінюється, то його називають змінним. У більшості випадків користуються змінним струмом, сила якого змінюється за синусоїдальним законом.

Існує декілька способів отримання змінного струму, але якщо частота не перевищує 1000 Гц, то зазвичай його отримують методом обертання рамки в магнітному полі.

Якщо наведену е.р.с. за допомогою кілець і щіток підвести до навантаження опором  $R$ , то на опорі виникає спад напруги, яка також змінюється за гармонічним законом:

$$U = U_{\max} \sin \omega t, \text{ або } U = U_{\max} \cos \omega t. \quad (23)$$

Під дією прикладеної напруги буде проходити змінний струм

$$I = I_{\max} \sin (\omega t + \varphi_0), \quad (24)$$

де  $I_{\max}$  — максимальне значення струму;  $\varphi_0$  — зсув за фазою між коливаннями сили струму і напруги.

У промислових колах значення струму і напруги змінюються гармонічно з частотою 50 Гц. Змінна напруга на кінцях кола створюється **генераторами** на електростанціях. У промисловості в генераторах великої потужності зазвичай обертають не рамку в магнітному полі, а магніт в рамці. У цьому разі використовувати змінний струм можна без кілець і щіток, що технічно більш вигідно.

Якщо у колі змінного струму є омичний опір, то коливання напруги і струму збігаються за фазою. Опір в цьому випадку називають **активним** (опір, в якому енергія, що надходить від генератора, перетворюється на внутрішню енергію провідника)

$$U = U_m \cos \omega t, \text{ то } I = I_m \cos \omega t. \quad (25)$$

**Діюче значення змінного струму** дорівнює такому значенню постійного струму, яке виділяє в провіднику таку саму кількість теплоти, що й даний змінний струм і рівне:

$$I_d = I_{\max} / \sqrt{2}. \quad (26)$$

Аналогічно визначають **діючі значення напруги і потужності**:

$$U_d = U_{\max} / \sqrt{2}, \quad (27)$$

$$P = I^2 R = I_{\max}^2 R / 2. \quad (28)$$

У колі змінного струму з котушкою індуктивності коливання напруги на котушці випереджають коливання сили струму на  $\frac{\pi}{2}$ .  
Якщо

$$I = I_m \cos \omega t, \text{ то } U = U_m \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (29)$$

$$I_m = \frac{U_m}{L\omega}, \quad (30)$$

де  $X_L = \omega L$  називається **індуктивним опором**.

Якщо в колі змінного струму є конденсатор, то коливання струму випереджають коливання напруги на конденсаторі на  $\frac{\pi}{2}$ . Якщо

$$I = I_m \cos \omega t, \text{ то } U = U_m \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (31)$$

**Ємнісний опір:**

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (32)$$

Для повного кола змінного струму напруга на полюсах джерела дорівнює сумі напруг на резисторі, котушці індуктивності та конденсаторі:

$$U = U_m \sin \omega t = U_R + U_L + U_C. \quad (33)$$

$$I = \frac{U}{Z}, \text{ де } Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C - \omega L)^2}$$

Тоді

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C - \omega L)^2}}. \quad (34)$$

Це аналітичний вираз **закону Ома для повного кола змінного струму**.

**Резонанс** має місце, якщо частота зовнішнього впливу буде наближатись до частоти  $\omega_0$ , яка називається власною частотою електричних коливань у колі

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (35)$$

Явище електричного резонансу широко застосовують для здійснення радіозв'язку. За допомогою резонансу можна виділити окрему радіостанцію чи телецентр. Але якщо коло не розраховане на роботу в умовах резонансу, то великий струм і напруга можуть призвести до аварії.

### Основні формули

$x = A \sin(\omega t + \phi_0)$ рівняння гармонічного коливання	$x$ — зміщення $A$ — амплітуда коливання $\phi_0$ — початкова фаза коливання	м м рад
$\phi = \omega t$	$\phi$ — кутове зміщення (фаза коливання)	рад
$T = \frac{t}{n}$	$T$ — період коливань $n$ — число повних коливань	с
$f = \frac{1}{T}$	$f$ — частота коливань	$\text{с}^{-1} = \text{Гц}$
$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	$\omega$ — циклічна частота	рад/с
$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	період коливань математичного маятника $l$ — довжина маятника	м
$\lambda = vT$	$\lambda$ — довжина хвилі $v$ — швидкість поширення хвилі	м м/с
$e = E_0 \sin(\omega t + \phi_0)$ $u = U_0 \sin(\omega t + \phi_0)$ $i = I_0 \sin(\omega t + \phi_0)$	$e, u, i$ — миттєві значення електрорушійної сили, напруги і струму в колі змінного струму $E_0, U_0, I_0$ — амплітудні значення електрорушійної сили, напруги і струму	В В
$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ $X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_c$ — ємнісний опір кола $X_L$ — індуктивний опір $f$ — частота змінного струму	Ом Ом Гц
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}$	$Z$ — повний опір кола при послідовному сполученні опорів $R$ — активний опір кола	Ом Ом
$T = 2\pi\sqrt{LC}$ формула Томсона	$T$ — період власних коливань коливального контуру	с
$\lambda = cT = \frac{c}{f}$	$\lambda$ — довжина електромагнітної хвилі $c$ — швидкість світла у вакуумі	м м/с

### Якісні задачі

1. Які умови необхідні для виникнення вільних коливань?
2. Від чого залежить вид хвиль, що поширюються в середовищі?
3. Голос людини поширюється у повітрі (поздовжня хвиля) і ми сприймаємо звук. Коли вдарити паличкою по поверхні води, то по цій поверхні поширюється поперечна хвиля. Чому ми чуємо звук і в повітрі, і у воді? Чи не відбувається перетворення поперечної хвилі у поздовжню?
4. Період коливань маятника на поверхні Землі 1 с, а на одному із тіл сонячної системи 2,5 с. Чи можна за цими даними визначити, що це за тіло, і яким чином?
5. Під дією яких сил відбуваються вільні коливання будь-якої системи?
6. Де швидше зменшиться амплітуда власних коливань кульки на пружині — у повітрі, чи у воді? Чому?
7. При поширенні хвиль відбувається передача речовини чи енергії?
8. Котушка із залізним осердям живиться змінним або постійним струмом однакової напруги. Чи однаково буде нагріватись ця котушка?

9. Чому на виробництві всі електродвигуни мають працювати з мінімальним навантаженням?
10. Для визначення процентного вмісту залізної руди у породі конвеєр з породою розміщують під котушкою коливального контуру, в якому генеруються електромагнітні коливання. На чому ґрунтується дія приладу?
11. Радіоприймач може приймати хвилі довжиною від 25 до 1000 м. Що потрібно зробити для переходу до прийому довших хвиль — зменшити чи збільшити відстань між пластинами конденсатора коливального контуру?
12. Як зміниться частота електромагнітних коливань в закритому коливальному контурі, якщо в його котушку внести залізне осердя? Якщо збільшити відстань між пластинами конденсатора?
13. Від чого залежить швидкість поширення електромагнітних хвиль?

### Методичні рекомендації

*Щоб перевірити розуміння учнями матеріалу про коливання і хвилі розглянемо приклад. Нехай ліфт рухається вгору з прискоренням  $a$ . У ньому на цяху підвішено кульку на нитці довжиною  $\ell$  (маятник), яка здійснює коливання. Знайдемо період коливань.*

Коли людина піднімається в ліфті вгору з прискоренням, то відчуває, що тіло притискається до підлоги, зростає вага. Так повинно бути і з маятником (каже учень). Тоді період коливань буде визначатись за формулою:

$$T = 2\pi\sqrt{\ell / (g + a)} . \quad (36)$$

Так, ця формула вірна, але учень не вміє пояснити, чому саме так. Отже, тут зручно використати неінерціальну систему відліку, пов'язану з прискореним ліфтом. Тоді ми можемо до тіла умовно прикласти додаткову силу (силу інерції), яка рівна  $ma$  і напрямлена в бік, протилежний прискоренню. Після цього можна розглядати рух як в інерціальній системі. У нашому випадку до кульки необхідно прикласти силу  $ma$ , яка буде сталою за величиною і напрямом (як й сила тяжіння  $mg$ ) і напрям її співпадатиме з напрямом сили тяжіння. Отже, результуюче прискорення буде  $(a + g)$ .

Якщо ліфт буде рухатись вниз, то, логічно, що період коливань маятника буде залежати від різниці прискорень  $(g - a)$ , оскільки сила інерції тоді спрямована вгору. Період коливань маятника буде:

$$T = 2\pi\sqrt{\ell / (g - a)} . \quad (37)$$

Чим меншою буде різниця прискорень  $a$  і  $g$ , тим більшим буде період коливань маятника. Якщо  $a = g$ , то буде стан невагомості.

Тоді запитуємо учня, як буде себе поводити маятник у стані невагомості. Учень відповідає, що математично з формули виходить, що період коливань маятника буде безмежно великим, тобто він буде в стані спокою. Щоб було краще зрозуміло, говоримо, нехай маятник коливається, раптом ліфт обривається і вільно падає. Учень знову підтверджує, що маятник нерухомий.

Однак, це не зовсім вірно. Маятник буде нерухомим відносно ліфта, якщо в момент обриву він був в крайньому положенні, а в іншому випадку, в стані невагомості кулька буде рівномірно обертатись на нитці у вертикальній площині із швидкістю, яку він мав у момент обриву.

Іншим прикладом може бути маятник, закріплений на возику, який без тертя ковзає з похилої площини з кутом нахилу  $\alpha$ . Довжина нитки  $\ell$ . Знайти період коливань маятника в системі, яка рухається з прискоренням. У цій задачі прискорення системи спрямоване під кутом до прискорення земного тяжіння. Тому необхідно з'ясувати, яким буде рівноважний напрям нитки маятника (рис 6 а).

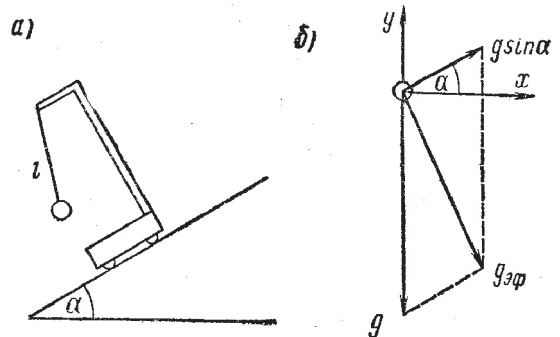


Рис. 6

Період коливань маятника визначиться за формулою

$$T = 2\pi\sqrt{\ell / g} . \quad (38)$$

Прискорення буде визначатись як векторна сума прискорення земного тяжіння і прискорення самої системи. Необхідно врахувати, що вектор прискорення треба взяти з протилежним знаком, оскільки сила інерції спрямована в бік, протилежний прискоренню системи (рис 6б). З рисунка видно, що прискорення возика рівне  $g \sin \alpha$ .

Тоді результуюче прискорення визначиться

$$g_{\text{ef}} = \sqrt{g_{\text{efx}}^2 + g_{\text{efy}}^2} = \sqrt{(g \sin \alpha \cos \alpha)^2 + (g - g \sin^2 \alpha)^2} = g \cos \alpha . \quad (39)$$

А період коливань маятника буде:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g \cos \alpha}} . \quad (40)$$

*Таким чином, щоб розібратись практично у питанні, ми використали знання динаміки, кінематики і гармонічних коливань.*

Відзначимо, що змінний струм — це вимушені електромагнітні коливання, форма яких визначається законом зміни прикладеної напруги. В разі гармонічної зміни напруги змінний струм являтиме собою гармонічні електромагнітні коливання. За гармонічним законом при цьому будуть змінюватись величини, що характеризують ці коливання (струм, напруга, індукція магнітного поля тощо).

*Звертаємо увагу учнів на те, що будь-який провідник має і активний, і індуктивний, і ємнісний опір, а говоримо ми окремо про один із них, вважаючи інші дуже малими. Лампи розжарення чинять однаковий опір постійному і змінному струмам, котушка індуктивності чинить більший опір змінному струмові, а конденсатор чинить великий опір постійному струмові.*

*З'ясуємо з учнями, чим відрізняється основне рівняння вимушених коливань в колі змінного струму від рівняння вільних коливань у коливальному контурі.*

Різниця полягає лише в наявності члена, який визначає гармонічні коливання напруги від джерела.

Важливим поняттям є резонанс у електричному колі. Нагадаємо учням, що з цим поняттям ми зустрічались при вивченні механічних коливань. Проводимо аналогію.

*Запитуємо, чому резонансне значення амплітуди сили струму встановлюється не одразу після вмикання зовнішньої напруги в коло.*

Енергія коливань пропорційна квадрату амплітуди. Енергія системи збільшується за рахунок джерела зовнішньої напруги. Якщо ця напруга мала порівняно з напругами на індуктивному і ємнісному опорах при резонансі, то для виконання відповідної роботи потрібний значний час. Якщо активний опір великий, амплітуда коливань при резонансі мала і коливання встановлюються швидко. При малому значенні омичного опору амплітуда велика, резонанс гострий, і тому час встановлення коливань великий.

Аналогія між механічними і електромагнітними коливаннями буде більш зрозумілою, якщо учні побудують резонансні криві для електричного кола і порівняють з такими для механічної коливальної системи.

**Генератор незгасаючих електромагнітних коливань** — це автоколивальна система, де ці коливання підтримуються за рахунок періодичного надходження енергії від джерела постійної напруги, що входить до складу системи



**Приклади розв'язування задач****Задача 1.** Дано рівняння коливань точки

$$x = 0,1 \cos(15,7t + \pi/4)$$

Знайти амплітуду, частоту і період коливань, фазу і зміщення в момент  $t = T/\varphi$ .**Розв'язування**

Запишемо рівняння коливань в загальному вигляді:  $x = x_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$ . Порівняємо це рівняння з рівнянням умови задачі і отримаємо  $2\pi \frac{t}{T} = 15,7t$ , звідки  $x_0 = 0,1$ . Знайдемо період і частоту коливань  $T = \frac{2\pi}{15,7} = 0,4$  с,  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,4} = 2,5$  Гц.

Знайдемо фазу коливань:

$$\varphi = 15,7t + \frac{\pi}{4} = 15,7 \frac{T}{4} + \frac{\pi}{4} = 15,7 \frac{0,4}{4} + \frac{\pi}{4} = \frac{3}{4}\pi$$

З рівняння бачимо, що  $x_0 = 0,1$  м, тому  $x = 0,1 \cdot \cos \frac{3}{4}\pi = 0,07$  м.**Задача 2.** Через який проміжок часу після початку коливань зміщення точки з положення рівноваги буде рівним половині амплітуди, якщо період коливань 24 с, а початкова фаза дорівнює нулю.**Розв'язування**

$x_1 = A/2$ $T = 24$ с $\varphi_0 = 0$	Запишемо рівняння гармонічного коливання $x = A \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$
$t_1 = ?$	За умовою задачі $x = A \sin \frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{1}{2}A$ , або скорочуючи на $A$ $\sin \frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{1}{2}$

Косинус дорівнює  $1/2$ , то його аргумент рівний  $\pi/6$ , тобто

$$\frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{\pi}{6}, \text{ звідки } t_1 = \frac{T}{12} = \left(\frac{24}{12}\right)\text{с} = 2\text{с}.$$

**Задача 3.** Мідна кулька, підвішена до пружини, здійснює вертикальні коливання. Як зміниться період коливань, якщо до пружини підвісити алюмінієву кульку того самого радіуса.**Розв'язування**

$\rho_1 = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> $\rho_2 = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Оскільки кульки, підвішені до пружини, являють собою пружинні маятники, то період їх коливань $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/k}, \quad T_2 = 2\pi\sqrt{m_2/k},$
$T_1/T_2 = ?$	де $m_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_1$ , а $m_2 = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_2$ — маси мідної і алюмінієвої кульок.

$$\text{Тоді } \frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{m_1/k}}{2\pi\sqrt{m_2/k}} = \frac{\sqrt{4\pi R^3 \rho_1 / 3k}}{\sqrt{4\pi R^3 \rho_2 / 3k}} = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{8,9 \cdot 10^3}{2,7 \cdot 10^3}} \approx 1,8$$

**Задача 4.** Струм у коливальному контурі змінюється з часом за законом  $i = 0,01 \cos 1000t$ . Знайти індуктивність контуру, якщо ємність конденсатора  $2 \cdot 10^{-5} \Phi$ .

**Розв'язання**

$i = 0,01 \cos 1000t$ $c = 2 \cdot 10^{-5} \Phi$	Залежність сили струму від часу в загальному вигляді: $i = I_m \cos \omega t$ .
$L = ?$	Згідно з умовою задачі $\omega = 1000 \text{ с}^{-1}$ ;

Знаючи, що  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC}$ , знаходимо індуктивність:  $L = \frac{T^2}{\pi^2 C}$

$$L = \frac{(2\pi \cdot 10^{-3})^2}{4\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = \frac{4\pi^2 \cdot 10^{-6}}{4\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = 0,5 \cdot 10^{-1} = 0,05 \text{ (Гн)}$$

**Відповідь:**  $L = 0,05 \text{ (Гн)}$ .

**Задача 5.** У контур ввімкнена котушка самоіндукції із змінною індуктивністю від 0,5 до 10 мкГн і конденсатор змінної ємності від 10 до 500 пФ. Який діапазон частот і довжин хвиль можна охопити налаштуванням цього контура?

**Розв'язання**

$L_1 = 0,5 \text{ мкГн} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ $L_2 = 10 \text{ мкГн} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ $C_1 = 10 \text{ пФ} = 10 \cdot 10^{-12} \Phi$ $C_2 = 500 \text{ пФ} = 500 \cdot 10^{-12} \Phi$	Частота коливань контуру: $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
$\nu_1 = ?$ $\nu_2 = ?$ $\lambda_1 = ?$ $\lambda_2 = ?$	$\nu_1 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{0,28 \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-18}}} =$ $\frac{0,16}{2,24 \cdot 10^{-9}} = 0,07 \cdot 10^9 = 7 \cdot 10^7 \text{ (Гц)}$

$$\nu_2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^{-12}}} = \frac{0,16}{\sqrt{5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-18}}} =$$

$$= \frac{0,16}{\sqrt{50 \cdot 10^{-16}}} = \frac{0,16}{7,07 \cdot 10^{-8}} = 0,02 \cdot 10^8 = 0,2 \cdot 10^7 \text{ (Гц)}$$

Враховуючи зв'язок частоти, довжини хвилі та швидкості електромагнітних хвиль

$$c = \lambda \cdot \nu, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

знаходимо діапазон довжин хвиль за формулою

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Тоді  $\lambda_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^7} \approx 4,3 \text{ (м)}$ , а  $\lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{0,2 \cdot 10^7} = 150 \text{ (м)}$ .

### *Задачі для самостійного розв'язування*

1. Тіло здійснює гармонічні коливання за законом  $x = 50 \sin(\pi/3)t$ . Знайти амплітуду сили і повну енергію тіла, якщо його маса 2 кг.
2. Знайти період коливань пружного маятника, якщо його маса 196 г, а пружність пружини  $2 \cdot 10^2$  Н/м.
3. Маятниковий годинник йде правильно при довжині маятника 55,8 см. На скільки відстане годинник за добу, якщо довжина маятника буде на 5,0 см більша? Маятник вважати математичним.
4. Знайти максимальну швидкість і максимальне прискорення коливної точки, якщо її амплітуда 5 см, а період 4 с.
5. Амплітуда гармонічного коливання матеріальної точки 2 см, повна енергія її коливань  $3 \cdot 10^{-7}$  Дж. При якому зміщенні від положення рівноваги на цю точку діє сила  $2,25 \cdot 10^{-5}$  Н?
6. Коливальний контур має індуктивність 1,6 мГн і ємність 0,04 мкФ. Максимальна напруга на затискачах 200 В. Знайти максимальну силу струму у мережі. Активним опором знехтувати.
7. У мережу змінного струму з напругою 120 В послідовно ввімкнено провідник з активним опором 150 Ом і котушка з індуктивністю 50 мГн. Знайти частоту струму, якщо амплітуда струму в колі 7 А.
8. Первинна обмотка знижувального трансформатора з коефіцієнтом трансформації 8 ввімкнена в коло з напругою 220 В. Опір вторинної обмотки 2 Ом, сила струму у вторинній обмотці 3 А. Знайти напругу на затискачах вторинної обмотки. Втратами у первинній обмотці знехтувати.
9. Знайти період коливань в контурі, що містить конденсатор ємністю 0,05 мкФ і котушку індуктивністю 1 мГн.
10. Електромагнітні хвилі поширюються в однорідному середовищі зі швидкістю  $2 \cdot 10^8$  м/с. Яку довжину хвилі мають електромагнітні коливання в цьому середовищі, якщо їх частота у вакуумі 1 мГн?

## ОПТИКА

### *Теоретичні положення, основи формули*

Оптика вивчає природу випромінювання; поширення і взаємодію з речовиною електромагнітних хвиль з довжинами в діапазоні від міліметрових радіохвиль до  $\gamma$ -випромінювання.

Основним поняттям геометричної оптики є «**світловий промінь**», а фундаментальними законами — закони відбиття і заломлення світла. Світлова тінь від точкового джерела світла доводить прямолінійність поширення світла.

Світловий промінь — це геометричне поняття. Під світловим променем розуміють не лише тонкий світловий пучок, а й лінію вздовж поширення світлової енергії.

Світло поширюється прямолінійно; це можна спостерігати сонячного дня у задимленому або запорошеному приміщенні з вузькими щілинами. Тоді добре видно вузькі світлові пучки, паралельні один одному.

Променева оптика спрощує розрахунки оптичних систем, але висновки її справедливі лише у випадках, коли можна знехтувати явищем дифракції світлових променів.

**Світлові хвилі** переносять енергію від джерела світла у навколишнє середовище. Кількісні характеристики світлових хвиль та техніку їх вимірювання вивчає **фотометрія**.

Для опису розподілу світлової енергії за напрямом вводять геометричне поняття тілесного кута.

**Тілесним (просторовим) кутом** називають ділянку простору, обмежену деякою кінчною поверхнею. Тілесний кут ( $\Delta\Omega$ ) дорівнює відношенню площі ділянки сфери ( $\Delta S$ ), вирізаної конусом з вершиною в центрі сфери, до квадрата радіуса цієї сфери ( $R$ ):

$$\Delta\Omega = \Delta S / R^2. \quad (1)$$

Тілесний кут вимірюється у **стерадіанах** (ср). Тілесний кут в один стерадіан виділяє на поверхні відповідної сфери ділянку, площа якої дорівнює квадрату радіуса цієї сфери.

Повний тілесний кут, який охоплює весь простір навколо даної точки, дорівнює  $4\pi$  ср.

**Точкове ізотропне джерело світла** — це тіло, яке випромінює світло в усіх напрямках рівномірно і його лінійні розміри дуже малі у порівнянні з відстанями, на яких оцінюється дія світла від цього джерела.

Важливою фотометричною величиною є світловий потік. **Світловий потік** — це енергія, що випромінюється точковим джерелом світла, віднесена до часу випромінювання:

$$\Phi = \frac{E}{t}. \quad (2)$$

Одиницею світлового потоку є **люмен** (1 Лм).

Від точкового джерела світло поширюється у межах повного просторового кута  $4\pi$  стерадіан:

$$\omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi,$$

де  $\omega$  — тілесний кут,  $S$  — площа частини сфери, на яку спирається цей кут.

Світловий потік, що випромінюється в одиничному тілесному куті у певному напрямі називають **силою світла** джерела:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (3)$$

Вимірюють силу світла у **канделах** (Кд). Коли світловий потік поширюється в усіх напрямках рівномірно (точкове джерело), то  $\Phi = I\omega$ . Повний світловий потік від точкового джерела рівний:

$$\Phi = 4\pi I. \quad (4)$$

**Освітленість** поверхні визначається світловим потоком, падаючим на одиницю цієї поверхні:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (5)$$

Одиницею освітленості є **люкс** (Ллк). Якщо точкове джерело світла помістити у центрі сфери з радіусом  $R$ , то освітленість цієї сфери буде:

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{S_0} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2} \quad (6)$$

Це аналітичний вираз **першого закону освітленості**.

Якщо рівномірно розподілений паралельний пучок променів похило падає на площину, то:

$$E = E_0 \cos i,$$

де  $i$  — кут падіння променів (кут між падаючим променем і нормаллю до поверхні). Це **другий закон освітленості**: освітленість поверхні паралельним світловим потоком прямо пропорційна косинусу кута падіння променів.

**Об'єднаний закон освітленості** запишеться так:

$$E = \frac{I}{R^2} \cos i. \quad (7)$$

**Яскравість** поверхні визначається формулою:

$$L = \frac{I}{S}, \quad (8)$$

де  $I$  — сила світла.  $[L]$  вимірюється у Кд/м<sup>2</sup> або нітах (Нт).

**Світність** поверхні визначається відношенням повного світлового потоку, який випромінюється з ділянки поверхні джерела, до її площі:

$$R = \frac{\Phi}{S}. \quad (9)$$

Світність вимірюється у Лм/м<sup>2</sup>. Якщо світність тіла зумовлена його освітленням іншим джерелом світла, то:

$$R = kE, \quad (10)$$

де  $k$  — коефіцієнт відбивання світла,  $E$  — освітленість поверхні. Якщо яскравість джерела світла однакова в усіх напрямках, то вона пов'язана із його світністю:

$$R = \pi L. \quad (11)$$

*Нерівності дороги вдень видно гірше, ніж вночі при освітленні її фарами автомобіля, оскільки вночі виникають від освітлення фарами тіні і тому їх добре видно здалеку.*

#### **Закони відбивання світла:**

а) промінь падаючий, відбитий і перпендикуляр до межі розділу двох середовищ у точці падіння лежать в одній площині;

б) кут падіння дорівнює куту відбивання ( $\alpha = \gamma$ ).

Тіла, які мають плоску або сферичну поверхню і дзеркально відбивають світло, називаються дзеркалами. Площину, здатну дзеркально відбивати світлові промені, називають плоским дзеркалом. Головна властивість плоского дзеркала полягає в тому, що за його допомогою можна отримати зображення предмета, який або сам світиться, або світиться відбитим світлом.

**Правило побудови зображення точки в плоскому дзеркалі** звучить так: якщо з точки на дзеркало (чи його продовження) поставити перпендикуляр і продовжити його за дзеркало на таку ж відстань, то там і буде уявне зображення точки.

Для побудови зображення предмета в дзеркалі на ньому обирають декілька точок і виконують побудову кожної.

Геометричні розміри протяжного джерела світла і його уявного зображення в плоскому дзеркалі є однаковими.

Плоскі дзеркала знаходять застосування у вимірювальних приладах, у мікроскопах та інших оптичних приладах. Якщо дзеркально відбиваюча поверхня є частиною сфери, то таке дзеркало називають сферичним.

Сферичні дзеркала поділяються на опуклі і вгнуті.

Якщо предмет розміщений на відстані  $d$  від джерела, а зображення отримуємо на відстані  $f$ , то

$$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}. \quad (12)$$

Знаки «+» у цій формулі відносяться до дійсних точок, а «-» — до уявних. Для опуклих дзеркал фокусну відстань беруть зі знаком «-». Відношення лінійних розмірів зображення до лінійних розмірів предмета називають збільшенням:

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \quad (13)$$

#### **Закони заломлення світла:**

а) промінь падаючий, заломлений і перпендикуляр до межі розділу середовищ в точці падіння, лежать в одній площині;

б) відношення синуса кута падіння  $\alpha$  до синуса кута заломлення  $\beta$  є величиною сталою для даної пари середовищ і ця стала називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого (рис. 1):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1} \quad (14)$$



Рис. 1

Показник заломлення будь-якого середовища відносно вакууму називають **абсолютним показником заломлення**:

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (15)$$

Якщо кут падіння більший за кут заломлення, то друге середовище називають **більш оптично густим**. Внаслідок переходу променя у більш оптично густе середовище кут заломлення менший від кута падіння. Якщо промінь переходить з оптично більш густого середовища у менш густе, то кут заломлення більший від кута падіння (рис. 2).

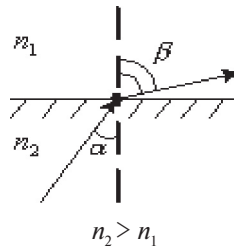


Рис. 2

При деякому куті падіння заломлений промінь піде по межі розділу середовищ. Цей кут падіння називають **граничним кутом** повного внутрішнього відбивання для даних двох середовищ, а кут заломлення при цьому  $\beta = 90^\circ$  (рис. 3).

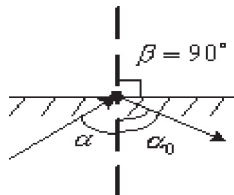


Рис. 3

Якщо  $\alpha = \alpha_0$ , то  $\beta = 90^\circ$  і  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}$ ,  $\sin 90^\circ = 1$ , тоді

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n} \quad (16)$$

називають граничним кутом повного внутрішнього відбиття.

Закони відбивання і заломлення світла справедливі лише тоді, коли розміри поверхні розділу двох середовищ значно більші від довжини хвилі світла. Якщо ця умова не виконується, то починають проявлятися хвильові властивості світла і спостерігається відхилення від цих законів.

На явищі повного внутрішнього відбивання ґрунтується дія «світлових фонтанів». Пучок світла, потрапляючи у струмінь, зазнає багаторазового внутрішнього відбивання, «вигинається» разом із струменем, освітлюючи його зсередини. Видовищними є справжні фонтани, численні струмені яких освітлюються різнокольоровими лампочками.

У природі повне внутрішнє відбивання має місце у райдузі, виникненні міражів у пустелях, які мандрівники можуть бачити в наслідок відбиття від межі «розпечене — холодне» повітря (дійсно існуючі оази, але розміщені від них часом на сотні кілометрів). В техніці явище повного внутрішнього відбивання використовують у поворотних призмах, волоконній оптиці (наприклад, ендоскопи у медицині).



**Лінза** — це прозоре тіло, обмежене двома сферичними, або сферичною і плоскою поверхнями. Головним фокусом лінзи називають точку на оптичній осі, в якій після заломлення у лінзі перетинаються усі промені, що йдуть паралельно до головної оптичної осі.

**Фокусна відстань різних лінз різна.** Це пояснюється різною кривизною їх поверхонь і різним хімічним складом речовин, з яких вони виготовлені.

Будь-яка лінза має два фокуси, які лежать по обидва боки від її оптичного центра. Формула тонкої лінзи записується так:

$$\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F}, \quad (17)$$

де  $d$  — відстань від предмета до лінзи,  $f$  — відстань від лінзи до зображення,  $F$  — фокусна відстань лінзи.

Враховуючи, що для розсіювальної лінзи фокус та зображення уявні, формула запишеться так:

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}. \quad (18)$$

Якщо  $h$  — висота предмета, а  $H$  — висота зображення, то збільшення, яке дає лінза визначається за формулою:

$$\beta = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (19)$$

Величина, обернена до фокусної відстані, вираженої у метрах, називається **оптичною силою лінзи** і вимірюється у діоптріях (дптр):

$$D = \frac{1}{F}, \quad (20)$$

де 1 дптр = 1 м<sup>-1</sup>.

Якщо лінза розміщена у будь-якому середовищі (не у повітрі), то її формула має вигляд:

$$\frac{1}{F} = (n_{\text{відн}} - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (21)$$

де  $n_{\text{відн}}$  — показник заломлення матеріалу лінзи відносно середовища, а  $R_1$  і  $R_2$  — радіуси кривизни обох поверхонь лінзи.

Для побудови зображення у лінзах використовують такі промені:

- промінь, паралельний до головної оптичної осі, після заломлення проходить через головний фокус;
- промінь, що проходить через головний фокус, після заломлення йде паралельно до головної оптичної осі;
- промінь, що проходить через оптичний центр лінзи, після заломлення не змінює свого напрямку поширення.

Істотна відмінність у лінзах дійсного зображення від уявного полягає в тому, що дійсне зображення світної точки можна отримати на екрані, якщо розмістити її на відповідній відстані від оптичної системи. Уявне зображення можна побачити лише за допомогою додаткової оптичної системи (наприклад ока), яка збирає розбіжний пучок в одну точку.

Лінзи використовують в оптичних приладах: проєкційних апаратах, фотоапаратах, телескопах тощо.

**Лупа** — збиральна лінза з малою фокусною відстанню, призначена для розгляду малих об'єктів. Якщо лупа не дає достатнього збільшення, то використовують мікроскоп. Для спостереження далеких об'єктів застосовують біноклі або телескопи.

*Якість зварювання металів контролюють за допомогою лупи. Це дає можливість виявити поверхневі раковини, пори, дрібні тріщини, шлакові вclusions, явища перепалу, нерівномірність швів та інші зовнішні дефекти.*

Серед органів чуття, які дають людині інформацію про довкілля, око посідає провідне місце. Навколишній світ відображається у свідомості переважно через зір. Око — це оптична система.

**Зоровий аналізатор** — це система, з допомогою якої людина бачить. Ми кажемо коротко — «око», маючи на увазі не лише очне яблуко та його захисний апарат, а й деяку частину мозку та зорові шляхи, що йдуть від очного яблука до мозку.

Отримання зображення предмета з будь-якої відстані на сітківці досягається зміною фокусної відстані всієї оптичної системи ока внаслідок зміни кривизни кришталика м'язами війкового тіла. Ця важлива властивість ока називається **акомодацією**, тобто здатністю ока однаково чітко бачити предмети на різній відстані. Без акомодатії добре видно лише далекі предмети; це зумовлено розтягом еластичної сумки та одночасним стисканням кришталика.

Максимально віддалена точка, промені від якої дають ще чіткіше зображення на сітківці, перебуває для здорового ока на безмежності, а найближча — на відстані 10 см від ока у 20-річному і 40 см — у 50-річному віці. Отже, з віком акомодатія послаблюється.

**Око, як оптична система, не позбавлене недоліків.** Коли людина довго читає — очі втомлюються, а під час прогулянки — відпочивають; коли розглядати близькі предмети, то потрібно напружувати зір, а якщо дивитися вдалину — напруга зникає. Напруга або розслаблення зумовлені роботою м'язів, що регулюють акомодатію.

Може трапитися, що оптична сила ока велика, тоді паралельні промені сходяться перед сітківкою, далі розходяться, і на сітківці зображення виникає у вигляді розмитої плями. У такому випадку говорять про **короткозорість (міопію)**.

Якщо оптична сила ока дуже мала, то паралельні промені сходяться за сітківкою, а на сітківці — знову розмита пляма. Чітке зображення може виникнути лише від збіжних променів, спрямованих у точку, розміщену за оком. Проте таких променів у природі немає, їх можна штучно отримати за допомогою оптичних приладів. Око у цьому випадку називають **далекозорим (гіперметропічним)**.

Відхилення ока від норми називають **аметропією**.

Для виправлення короткозорості та далекозорості використовують оптичні лінзи: окуляри, контактні лінзи.

*Різноманіття барв можна отримати змішуванням світла трьох кольорів: синього, зеленого і червоного (трикомпонентна теорія). Ці кольори називаються первинними або основними.*

*Якщо певні спектральні компоненти в ділянці видимого світла око поглинає краще, ніж інші, то воно виглядає забарвленим. Який саме колір ми бачимо, залежить як від довжини хвилі, так і від розподілу енергії між різними ділянками спектра та від властивостей зорової системи.*

*У сітківці наявні рецептори чотирьох типів: палички і три типи колбочок. Кожен тип рецепторів має свій особливий пігмент. Різні пігменти відрізняються своїм хімічним складом. Через це здатність поглинати світло з різною довжиною хвилі є різною.*

*Зір — не миттєвий процес. Для розвитку реакцій на оптичне зображення необхідний деякий час, а коли реакція вже з'явилася, необхідний час, щоб вона припинилася. Це пояснюється тим, що деякий час йде на перебіг хімічних реакцій, які забезпечують переведення світлового зображення на нейроелектричну відповідь.*

*Ми сприймаємо спектр як неперервний ряд різних кольорів — від червоного до фіолетового. Однак, у спектрі, отриманому з допомогою призми, відсутні деякі кольори: коричневий, рожевий тощо. Вочевидь, ці кольори не монохроматичні.*

*В результаті змішування двох монохроматичних потоків отримуємо не два різних кольори, а один новий результат змішування. Після змішування двох монохроматичних потоків, око людини не здатне визначити, які саме кольори входять у суміш. Це відрізняється докорінно від аналогічного досліду зі слухом: окремі тони, які утворюють акорд, досить легко можна розпізнати. Більш того, внаслідок змішування деяких монохроматичних пучків можна отримати біле світло. Наприклад, якщо змішати синьо-жовте монохроматичне світло (490 нм) із червоно-жовтим (600 нм), підібравши певну інтенсивність кожного світлового потоку, то обидва кольори взаємно знищуються і ми побачимо сіру пляму. Такі монохроматичні кольори називають додатковими.*

*Для характеристики кольору у звичайному розумінні цього слова мають значення три фактори: тон, насиченість і яскравість.*

**Колір фарби зумовлений тим, що вона поглинає все світло, крім світла даної фарби.** Щоб дізнатись, що одержимо при змішуванні двох фарб, необхідно з'ясувати, які довжини хвиль будуть поглинатись даною сумішшю. Поєднання двох пучків забарвленого світла і двох фарб дає зовсім різний результат, якщо навіть їх кольори називаються зовсім однаково.

**Щоб передбачити, який буде колір після змішування, не потрібно питати, які змішувались кольори, а важливо, які кольори попадуть в око.**

*Використовуючи пари додаткових кольорів, можна отримати систему змішування кольорів.*

*Приспосовання ока зумовлює іноді зорові ілюзії. око у незнайомій ситуації іноді допускає помилки в оцінюванні та порівнянні довжин відрізків, розмірів кутів, відстаней між предметами, сприйнятті форми предметів тощо.*

*У більшості випадків ілюзії пов'язані із тим, що деякі предмети або їх частини сприймаються не окремо, а у зв'язку з оточуючими предметами (за контрастом).*

Хвильові властивості світла підтверджують явища інтерференції, дифракції, поляризації.

**Інтерференція** — це явище накладання хвиль з посиленням коливань в одних точках середовища і послабленням — в інших. Ця умова виконується при накладанні когерентних хвиль (однакова частота і постійна різниця фаз коливань).

Оскільки світло — це електромагнітна хвиля, тому, якщо в просторі одночасно поширюються дві чи більше хвиль, то в кожній точці (зокрема і в точці  $A$ ) хвилі будуть накладатись, утворюючи інтерференційну картину. Вона складається із мінімумів і максимумів освітленості (рис. 4).



Рис. 4

Нехай від джерел  $S_1$  і  $S_2$  поширюються дві хвилі, які накладаються в точці  $A$ ,  $d_1$  і  $d_2$  — довжини ходу першої і другої хвилі,  $\Delta d = d_1 - d_2$  — геометрична різниця ходу.

Якщо на різниці ходу  $\Delta d$  міститься парна кількість півхвиль, то обидві хвилі надійдуть в точку  $A$  в однакових фазах і підсилять одна одну — в точці  $A$  буде максимум. Якщо на різниці ходу  $\Delta d$  вкладається непарне число півхвиль, то хвилі прийдуть в точку  $A$  в протилежних фазах і погасять одна одну — в точці  $A$  буде мінімум інтенсивності світла, тобто

$$\text{якщо } \Delta d = \begin{cases} (2k)\lambda / 2 - \text{максимум з амплітудою } (A_1 + A_2), \\ (2k-1)\lambda / 2 - \text{мінімум з амплітудою } (A_1 - A_2), \\ \text{неціле число } \lambda / 2 - \text{коливання з проміжними значеннями амплітуди.} \end{cases}$$

При інтерференції відбувається перерозподіл енергії коливань. У місцях, де коливання відбуваються із зростанням амплітуди, енергія збільшується; в місцях, де коливання відбуваються із зменшенням амплітуди, енергія зменшується.

Проходження світла через щілини, сумірні з довжиною хвилі, чи огинання світлом малих перешкод приводить до відхилення світлого променя від прямолінійного напрямку поширення. Це явище називається **дифракцією світла**.

**Дифракційна ґратка** — це система великої кількості дуже вузьких за шириною паралельних щілин, розділених непрозорими проміжками. Величина, що дорівнює сумі ширини щілини і ширини проміжку називається **періодом ґратки**. Формула дифракційної ґратки:  $d \sin \phi = \pm k\lambda$ .

Період ґратки  $d$  пов'язаний із кількістю штрихів  $N$ , які припадають на одиницю її ширини співвідношенням:  $d = \frac{1}{N}$ . Деякі високоякісні дифракційні решітки мають біля 2000 штрихів/мм.

Якщо на прозору плоску дифракційну ґратку нормально падає монохроматичне світло, то умовою дифракційного максимуму є  $d \sin \phi = k\lambda$ , а мінімуму —  $d \sin \phi = (2k+1)\lambda / 2$ , де  $\phi$  — кут дифракції,  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  — порядковий номер максимуму або мінімуму. Якщо на ґратку падає біле світло, то утворюється дифракційний спектр і  $k$  — порядковий номер спектру.

**Явище дифракції обмежує роздільну здатність оптичних приладів і ока.**

**Світлова хвиля** — це електромагнітна хвиля, яка характеризується певними напрямками коливань векторів  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  (напруженостей електричного і магнітного полів). Вектор  $\vec{E}$  називають світловим. Якщо коливання світлового вектора відбувається в одній площині, то таке світло називають **плоскополяризованим**.

У природному (неполяризованому) світлі представлені поперечні коливання у різних площинах і не існує переважного їх напрямку, тому вектори  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  хаотично змінюються, але залишаються перпендикулярними до напрямку поширення світла.

Поляризоване світло отримують внаслідок його пропускання крізь поляризатори, якими можуть служити деякі кристали (турмалін, кварц, ісландський шпат тощо), штучно виготовлені поляроїди, призми (Ніколя, Волластона). Поляризація також відбувається при відбиванні світла від поверхні розділу двох діелектриків.

*Світло неба завжди частково поляризоване через його розсіювання в земній атмосфері. Людське око не розрізняє поляризованого світла від природного.*

Поляроїди застосовуються у автотранспорті для захисту водіїв від засліплення світлом зустрічних транспортних засобів, у поляризаційних світлозахисних окулярах тощо. У машинобудуванні і будівельній техніці явище поляризації використовується для вивчення розподілу механічних напруг у різних прозорих моделях. Деякі кристали, які називають оптично-активними (наприклад, кварц), мають здатність повертати площину поляризації світла, що проходить крізь них. На властивості розчину цукру повертати площину поляризації світла заснована дія цукрометра (поляриметра) — приладу для визначення концентрації цукру в біологічних рідинах.

*Якщо на всі автомобілі замість вітрового скла і скла фар поставити поляроїди під кутом  $45^\circ$  до горизонту, то відпала б потреба перемикати дальнє світло на близьке і навпаки.*

*Якщо на поверхню води нанести крапельку олії, то при освітленні побачимо райдужні смуги, що пояснюються інтерференцією світла.*

*Швачки, підбираючи гудзики до своїх виробів, виявили, що деякі з них мають райдужне забарвлення. Це пояснюється тим, що при виготовленні штучних перламутрових гудзиків на їх поверхню наноситься найдрібніша штриховка, яка відіграє роль дифракційної решітки, що дає спектр у відбитих променях.*

Хвильові властивості світла проявляються у випадках, коли довжина хвилі сумірна з розмірами тіл, з якими світло взаємодіє. Зі зміною довжини хвилі світла послаблюються його хвильові властивості і сильніше проявляються квантові властивості.

Заломлюються усі електромагнітні хвилі, при цьому хвилі різних довжин мають різні показники заломлення. Світло біле (природне) — є сукупністю різних видимих електромагнітних хвиль, від червоного кольору до фіолетового. Показник заломлення пов'язаний з кольором. Хвилі темно-червоного кольору мають більший показник заломлення, а кут заломлення є найменшим. Хвилі фіолетового кольору мають менший показник заломлення і найбільший кут заломлення. Це явище називається дисперсією.

*Дисперсією пояснюється райдуга, синій колір неба, схід Сонця тощо. У оптичних приладах внаслідок дисперсії виникає хроматична аберація.*

**Дисперсія світла свідчить про те, що фазова швидкість світла в речовині залежить від довжини хвилі (частоти).**

*Помічаємо, що дорожні знаки роблять не на білому, а на жовто-зеленому фоні. Це робиться тому, що око людини найбільш чутливе до променів світла, частота яких займає середню частину видимого спектру (жовтий та зелений кольори).*

Залежність показника заломлення від довжини хвилі світла нелінійна; показник заломлення значно змінюється для хвиль з малою довжиною.

**Основні формули**

$n = \frac{c}{v}$	$n$ — абсолютний показник заломлення $v$ — швидкість світла в даному середовищі	м/с
$e = hf$	$e$ — енергія фотона $h$ — стала Планка	Дж Дж·с
$n\lambda = d \sin \varphi$	$d$ — період ґратки $\varphi$ — кут між нормаллю до дифракційної ґратки і напрямом на максимум $n$ — порядок максимуму	м град
$n_{2,1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ $n_{2,1} = \frac{v_2}{v_1}$ $\sin i_{\text{сп}} = \frac{1}{n}$	$\alpha$ — кут падіння променя $\beta$ — кут заломлення променя $n_{2,1}$ — відносний показник заломлення $v_1$ — швидкість світла в першому середовищі $v_2$ — швидкість світла в другому середовищі $i_{\text{сп}}$ — граничний кут повного внутрішнього відбивання	град град м/с м/с град
$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$ $D = \frac{1}{F}$	$F$ — фокусна відстань лінзи (дзеркала) $d$ — відстань від предмета до лінзи (дзеркала) $f$ — відстань від зображення до лінзи (дзеркала) $D$ — оптична сила лінзи	м м м дптр
$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$	$k$ — лінійне збільшення лінзи і сферичного дзеркала $H$ — висота зображення $h$ — висота предмета	м м
$\Phi = \frac{L}{t}$ $\Phi_0 = 4\pi I$	$\Phi$ — світловий потік $L$ — енергія потоку $\Phi_0$ — повний світловий потік $I$ — сила світла	Лм Дж Лм Кд
$I = \frac{\Phi}{\omega}$	$\omega$ — тілесний кут	рад
$E = \frac{\Phi}{S}$	$E$ — освітленість	Лк
$E = \frac{I}{r^2}$ $E = E_0 \cos \alpha$ $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ закони освітленості	$E_0$ — освітленість поверхні перпендикулярними променями $r$ — відстань від джерела світла до освітленої поверхні $\alpha$ — кут падіння променів	Лк м град
$d \sin \varphi = \pm k\lambda$ формула дифракційної ґратки	$d$ — стала ґратки $\varphi$ — кут дифракції $\lambda$ — довжина хвилі $k$ — порядок максимуму	м град м
$\Delta d_{\text{max}} = \pm k\lambda$ $\Delta d_{\text{min}} = \pm (2k+1) \frac{\lambda}{2}$ умови максимуму і мінімуму інтерференції	$\Delta d$ — різниця ходу променів	м

### Якісні задачі

1. Кут падіння променя на межу двох середовищ збільшився у  $n$  разів. Чи збільшиться кут заломлення теж у  $n$  разів?
2. Чому не рекомендується поливати рослини посеред сонячного літнього дня?
3. Занурена у склянку з чаєм ложечка збоку видається зламаною на дві частини. За яких умов вона видаватиметься зламаною на більше число частин?
4. Чи може власник квадратного акваріума, в якому плаває одна рибка, бачити там одночасно дві однакові рибки?
5. Симетричну лінзу розрізали навпіл по площині симетрії, яку частину початкової оптичної сили мають дві утворені лінзи?
6. Чи завжди збільшується розміри зображення при наближенні предмета до збиральної лінзи?
7. Чиє око, риби чи птаха, за однакових геометричних розмірів має більшу оптичну силу?
8. Чи зміниться кут зламу частково зануреної у чай ложки при підвищенні температури чаю?
9. Між якими кольорами у смужці спектру розміщений рожевий колір?
10. Якого кольору має бути скельце, крізь яке не можна прочитати зелений напис на білому папері?
11. Після циклону з інтенсивними дощами небо особливо синє. Як це пояснити?
12. Як зміниться вигляд мильної бульбашки при освітленні її монохроматичним світлом?
13. Як зміниться вигляд неба при підніманні людини вгору?
14. Як зміниться дифракційна картина на екрані, якщо кожну другу щілину решітки зробити непрозорою?

### Методичні рекомендації

**Чи розуміють учні, як відбиваються і заломлюються світлові промені?**

Закони заломлення і відбивання світла учні переважно формулюють так:

- кут падіння дорівнює куту відбивання;
- відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення дорівнює показнику заломлення середовища.

Ці формулювання дуже неточні. Не вказано, що падаючий і відбитий (або заломлений) промені лежать в одній площині з перпендикуляром, поставленим до межі розділу двох середовищ в точку падіння. Якщо це не сказано, то відбивання можна уявити так (рис. 5):

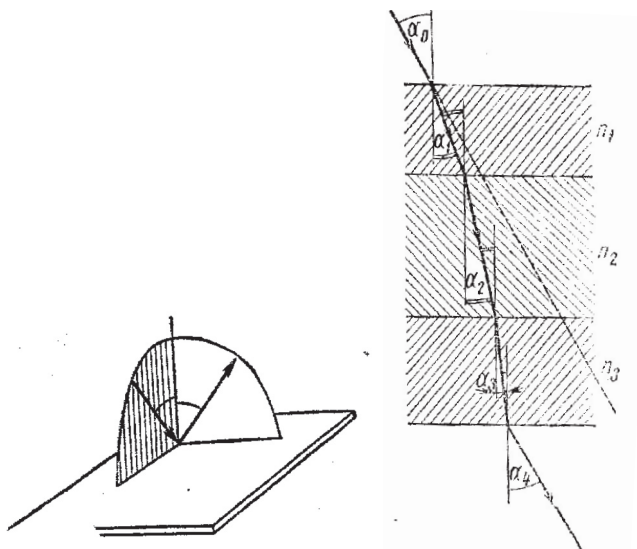


Рис. 5



Формулювання закону заломлення відноситься до частинного випадку падіння променя з повітря на межу деякого середовища.

Нехай для загального випадку промінь падає із середовища з показником заломлення  $n_1$  на межу середовища з показником заломлення  $n_2$ . Якщо кут падіння позначити через  $\alpha_1$ , а кут заломлення через  $\alpha_2$ , то закон заломлення запишеться так:

$$\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = n_2 / n_1$$

Звідси випливає формулювання учня за умови, що для повітря  $n_1 = 1$ .

Розглянемо задачу. *Монета лежить у воді на глибині  $H$ . Будемо дивитись на неї зверху по вертикалі. На якій глибині ми побачимо монету?*

З практики учень знає, що монета буде здаватись підійнятою, але конкретно пояснити і довести він це не може.

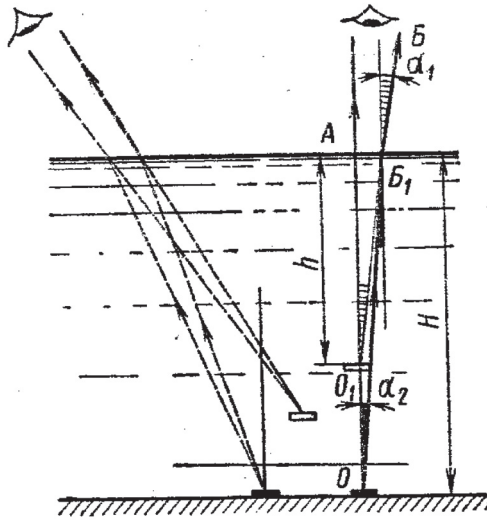


Рис. 6

Щоб вирішити цю задачу, необхідно від монети провести два промені  $OA$  і  $OB_1B$  (рис. 6). Промінь  $OA$  не заломлюється (він вертикальний), а промінь  $OB_1B$  заломлюється. Припустимо, що ці два промені, які розходяться, потрапляють в око. Тоді око бачить зображення монети у точці перетину променів  $AO$  і  $BB_1$ , які розходяться у точці  $O$ . З рисунка видно, що шукана відстань  $h$  пов'язана з глибиною  $H$  співвідношенням:

$$h \operatorname{tg} \alpha_1 = H \operatorname{tg} \alpha_2,$$

звідки

$$h = H (\operatorname{tg} \alpha_2 / \operatorname{tg} \alpha_1).$$

Кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  дуже малі, а тому можна використати наближену формулу

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$$

(тут кут виражений у радіанах). Використавши останню формулу, можна написати:

$$h \approx H (\sin \alpha_2 / \sin \alpha_1) = H / n.$$

Оскільки для води  $n = 4/3$ , то  $h = (3/4) H$ .

*Тоді в учня виникає запитання: а що буде, якщо дивитись на монету не по вертикалі, а якимось збоку?*

У цьому випадку монета буде здаватись не лише підійнятою, а ще й зміщеною вдалину (на малюнку позначено пунктиром). У цьому випадку розрахунок значно ускладнюється.

Задача. *Водолаз висотою  $h$  стоїть на дні озера на глибині  $H$ . Знайти мінімальну відстань від точки, де стоїть водолаз, до тих точок дна, які він може побачити відбитими від поверхні води (рис. 7).*

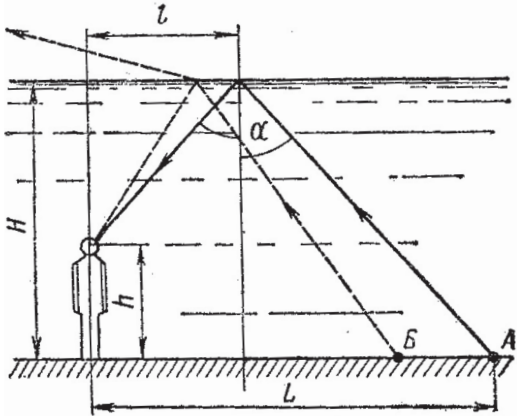


Рис. 7

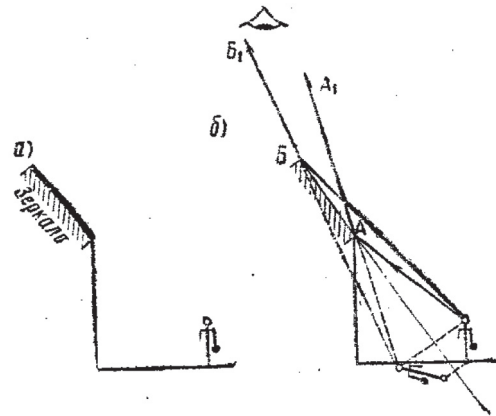


Рис. 8

Позначимо шукану відстань через  $L$ . Хід променя з точки  $A$  в око водолаза показано на рисунку 7: точка  $A$  — найближча до водолаза точка, яку він може побачити відбитою від поверхні води. Так, наприклад, промінь від більш близької точки  $B$  на поверхні води заломлюється і не повертається до водолаза. Кут  $\alpha$  є кутом повного внутрішнього відбивання. Він обчислюється за формулою:

$$\sin \alpha = 1/n.$$

З рисунка видно, що

$$L = h \operatorname{tg} \alpha + 2(H - h) \operatorname{tg} \alpha = (2H - h) \operatorname{tg} \alpha.$$

Оскільки  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha / \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ , то, використавши  $\sin \alpha = 1/n$ , отримаємо:

$$L = (2H - h) / \sqrt{n^2 - 1}.$$

Підставивши сюди  $n = 4/3$ , знаходимо, що

$$L = (3/\sqrt{5})(2H - h).$$

Це правильно.

**Яку картину буде бачити водолаз над своєю головою?**

Він буде бачити прямо над собою світлий круг радіусом

$$\ell = (H - h) / \sqrt{n^2 - 1} = (3/\sqrt{5})(H - h) \text{ (видно з рис. 7).}$$

За межами цього круга він буде бачити зображення предметів дна.

Нерідко стикаємось з тим, що учні не вміють будувати зображення в оптичних приладах.

Розглянемо приклад: **необхідно побудувати зображення людини у плоскому дзеркалі, показаному на рисунку (рис. 8 а).**

Учень переважно стверджує, що зображення не буде, оскільки дзеркало розміщене дуже високо.

Проте це твердження помилкове, зображення буде. Його побудова показана на рисунку 8 б.

Неважко переконатись, що для отримання зображення достатньо продовжити площину дзеркала і симетрично показати зображення людини відносно цієї площини.

**Чи побачить людина своє зображення?**

Людина свого зображення не побачить. Для цього дзеркало розміщене занадто високо і, крім цього, незручно нахилене. Зображення людини в такому дзеркалі побачать лише ті спостерігачі, які будуть знаходитись у межах кута, утвореного променями  $AA_1$  і  $BB_1$ . Доцільно нагадати, що в око спостерігача повинен вийти пучок променів, що розходяться від спостережуваного предмета. Око побачить зображення предмета в точці перетину цих променів або їх продовжень (рис. 8 б).

**Як же правильно будувати зображення у лінзах?**

Побудуємо зображення предмета у лінзі для випадку, показаного на рисунку (9). Це дуже просто. Побудова представлена на рисунку (9 б).

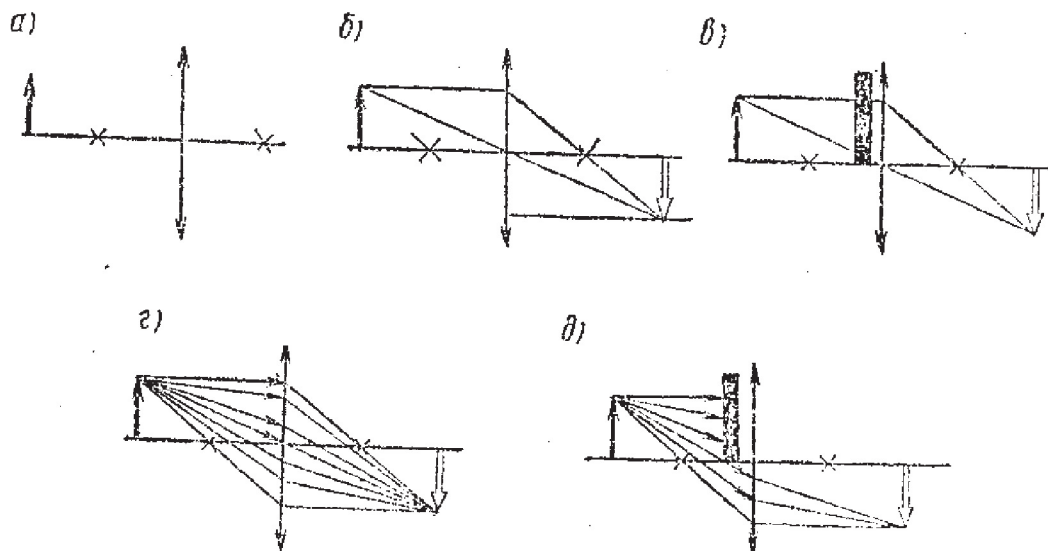


Рис. 9

Але уявімо, що половина лінзи закрита екраном, як показано на рисунку (9 д). Що відбудеться при цьому із зображенням?

Учень відповідає, що зображення не буде. Це невірно. Треба пам'ятати, що зображення будь-якої точки стрілки (наприклад, її кінця) отримується в результаті перетину не двох променів, а безмежно великої кількості променів (рис. 9 г). Зазвичай ми обмежуємося двома променями, тому що для побудови зображення достатньо розглянути хід лише двох променів. Екран у цьому випадку затримує частину променів, що падають на лінзу. Однак друга частина променів проходить крізь лінзу і утворює зображення предмета (рис. 9 д). Але, оскільки у цьому випадку в утворенні зображення приймає участь менше променів, то зображення буде менш чітким.

**Приклади розв'язування задач**

**Задача 1.** Промінь світла з води потрапляє під деяким кутом у скляну пластину товщиною  $l = 5$  мм. Показник заломлення води дорівнює 1,33; скла — 1,5.

**I рівень.** Якщо  $n_1$  і  $n_2$  — абсолютні показники заломлення середовищ 1 і 2 відповідно, то показник заломлення середовища 2 відносно середовища 1 (відносний показник заломлення  $n_{1,2}$ ) визначається за формулою:

$$\text{а) } n_{1,2} = \sqrt{n_1 n_2} ; \text{ б) } n_{1,2} = \frac{n_1 + n_2}{2} ; \text{ в) } n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} ; \text{ г) } n_{2,1} = \frac{n_1}{n_2} .$$

**II рівень.** Визначити кут падіння променя, при якому кут між відбитим та заломленим променем  $\gamma = 90^\circ$ .

**III рівень.** Якою буде здаватися товщина пластини  $l_x$  під час спостереження за ходом променя?

**Розв'язання**

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,5 \\ n_2 &= 1,33 \\ l &= 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{II} - \alpha?$$

$$\text{III} - l_x?$$

**I рівень.** Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величиною сталою і називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого  $n_{1,2}$ .

Якщо задані абсолютні показники заломлення середовищ  $n_1$  і  $n_2$ , то

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Відносний показник заломлення першого середовища відносно другого  $n_{1,2}$  визначається формулою  $n_{1,2} = n_1 / n_2$ , причому  $n_{1,2} = 1 / n_{2,1}$ .

**Відповідь:** Відносний показник заломлення другого середовища відносно першого визначається формулою  $n_{1,2} = 1 / n_{2,1}$  (в).

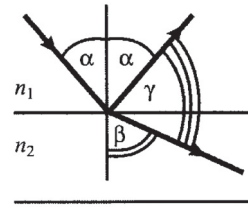
**II рівень.** Із рисунка випливає, що

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ.$$

Оскільки за умовою  $\gamma = 90^\circ$ , то  $\beta = 90^\circ - \alpha$ .

За визначенням

$$n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (1).$$



Використавши формулу  $\sin \beta = \sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$  і підставивши в рівняння (1), отримаємо:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Звідси:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{n_2}{n_1}.$$

$$\text{Обчислюємо: } \alpha = \operatorname{arctg} \frac{1,33}{1,5} = \operatorname{arctg} 0,887 \approx 41,6^\circ$$

**Відповідь:**  $\alpha \approx 41,6^\circ$ .

**III рівень.** Точку  $S$  на нижній стороні пластини можна вважати джерелом світла.

При розгляданні цього джерела в напрямі  $OS$  в око потрапляє не лише промінь  $SO$ , а й промінь  $SA$ . Заломлення світла зумовлює появу в полі зору замість джерела  $S$  його зображення  $S'$ .

«Видима» відстань від межі середовищ до цього зображення  $l_x$  становить довжину  $OS'$ , де  $S'$  — точка перетину променів 1 і 2.

З рисунка видно, що

$$AO = l \operatorname{tg} \alpha = l_x \operatorname{tg} \beta,$$

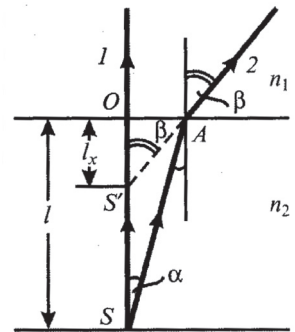
звідси

$$\frac{l_x}{l} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Оскільки кути  $\alpha$  і  $\beta$  малі, то  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$  і  $\operatorname{tg} \beta \approx \sin \beta$ .

$$\text{Тоді } \frac{l_x}{l} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$\text{звідки } l_x = l \frac{n_2}{n_1}.$$



Обчислюємо:  $l_x = 5 \cdot 10^{-3} \frac{1,33}{1,5} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,4 \text{ мм.}$

**Відповідь:**  $l_x = 4,4 \text{ мм.}$

**Задача 2.** Після розміщення між предметом та екраном збиральної симетричної лінзи зі скла на екрані, розташованому на відстані  $L = 1,6 \text{ м}$  від предмета, утворилось зображення втричі більше за предмет.

**I рівень.** Пряма, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називається:

- а) фокусною відстанню лінзи; б) головною оптичною віссю;  
в) побічною оптичною віссю; г) оптичним центром.

**II рівень.** Яка відстань від лінзи до екрана?

**III рівень.** Визначити радіус кривизни поверхонь лінзи.

**Розв'язання**

$$L = 1,6 \text{ м}$$

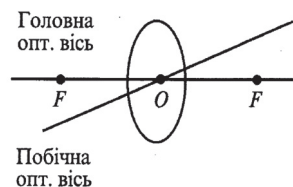
$$\Gamma = 3$$

$$n = 1,5$$

$$\text{II} \quad x - ?$$

$$\text{III} \quad R - ?$$

**I рівень.** Пряма, яка проходить через центри сферичних поверхонь будь-якої лінзи (збиральної, розсіювальної, симетричної, несиметричної), називається головною оптичною віссю, причому ця вісь проходить ще й через оптичний центр лінзи ( $O$ ), і на ній розміщені фокуси лінзи ( $F$ ).



Будь-яка інша пряма, що проходить через центри сферичних поверхонь лінзи, називається головною оптичною віссю.

**Відповідь:** Пряма, яка проходить через центри сферичних поверхонь лінзи, називається головною оптичною віссю (б).

**II рівень.** Оскільки за умовою зображення є збільшеним і дійсним, то предмет розміщений між фокусом  $F$  і подвійним фокусом  $2F$ .

Побудуємо зображення предмета  $AB$  для цього випадку. Проведемо промінь 1 паралельно до головної оптичної осі, який після заломлення в лінзі пройде через її фокус  $F$ .

Промінь 2 проведемо через оптичний центр лінзи  $O$ . Цей промінь не відхиляється лінзою, і його продовження перетинається з променем 1 у точці  $A'$ , яка є зображенням точки  $A$ .

Подібно отримуємо точку  $B'$ , що є зображенням точки  $B$ .

З'єднуємо точки  $A'$  і  $B'$  та одержуємо збільшене, дійсне і обернене зображення  $A'B'$  предмета  $AB$ .

Позначаємо на рисунку величини, які входять у формули лінзи і лінійного збільшення лінзи.

Шукана відстань:

$$d = \frac{f}{\Gamma}. \quad (2)$$

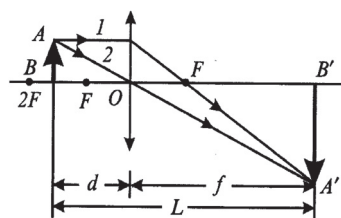
Підставляємо (2) у вираз (1), тоді будемо мати:

$$f = L - \frac{f}{\Gamma},$$

$$f = \frac{\Gamma L}{\Gamma + 1}. \quad (3)$$

Обчислюємо:  $f = \frac{3 \cdot 1,6}{3 + 1} = 1,2 \text{ м.}$

**Відповідь:**  $f = 1,2 \text{ м.}$



**III рівень.** Радіуси кривизни поверхонь лінзи  $R_1$  і  $R_2$  визначають її оптичну силу. Оскільки лінза збиральна та симетрична, то  $R_1 = R_2$ , тому

$$D = (n_{2,1} - 1) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) = \frac{2(n-1)}{R},$$

звідси: 
$$R = \frac{2(n-1)}{D}. \quad (4)$$

Для визначення оптичної сили лінзи  $D$  використаємо формулу тонкої лінзи  $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$ , де  $F$  — фокусна відстань і  $\frac{1}{F} = D$ . Тоді

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \quad (5)$$

Оскільки  $f = x$  і  $x$  визначають з рівності (1), то

$$f = \frac{\Gamma L}{\Gamma + 1}. \quad (6)$$

Згідно з виразом (2)  $d = x / \Gamma$ , і використавши формулу (1), отримаємо:

$$d = \frac{L}{\Gamma + 1}. \quad (7)$$

Підставивши вирази (6) і (7) у формулу (5), одержуємо:

$$D = \frac{(\Gamma + 1)^2}{\Gamma L}.$$

Цю рівність підставляємо у вираз (4), тоді остаточно маємо:

$$R = \frac{2(n-1)\Gamma L}{(\Gamma + 1)^2}.$$

Обчислюємо:  $R = \frac{2(1,5-1)3 \cdot 1,6}{(3+1)^2} = 0,3 \text{ м}.$

**Відповідь:**  $R = 0,3 \text{ м}.$

### ***Задачі для самостійного розв'язування***

1. Обчислити світловий потік, який падає на площину 10 см, розміщену на відстані 2 м від джерела, якщо сила світла 200 Кд.
2. Дві електричні лампи, розміщені поряд, освітлюють екран. Відстань від лампи до екрану 1 м. Одну лампу погасили. На скільки необхідно наблизити екран, щоб освітленість його не змінилась?
3. Знайти граничний кут падіння променя на межу розділу скла і води.
4. Радіус кривизни ввігнутого дзеркала 80 см. На якій відстані від дзеркала необхідно помістити предмет, щоб його дійсне зображення було удвічі більшим за предмет?
5. На якій відстані перед опуклим сферичним дзеркалом повинен знаходитись предмет, щоб його зображення було у 1,5 разів ближче до дзеркала, ніж сам предмет? Радіус кривизни дзеркала 1,6 м. Побудуйте зображення.
6. Предмет знаходиться на відстані 5 м від опуклої лінзи, головна фокусна відстань якої 1 м. Де буде знаходитись зображення предмета?
7. Побудувати зображення предмета в лупі і знайти її збільшення, якщо оптична сила лупи  $16 \text{ м}^{-1}$ .
8. Знайти збільшення мікроскопа, якщо фокусна відстань об'єктива і окуляра відповідно 2 і 40 мм, а відстань між їх головними фокусами — 18 см.
9. Де і яке отримаємо зображення предмета, розміщеного за подвійною фокусною відстанню розсіювальної лінзи? Побудувати це зображення.
10. За якої умови можна спостерігати дифракційну картину? Що спостерігається на екрані при дифракції монохроматичного світла і звичайного?



## СУЧАСНА ФІЗИКА

### Теоретичні положення, основні формули

**Теорія відносності** — це фізична теорія, яка описує рух тіл і елементарних частинок, що рухаються з великими швидкостями. Справедливість теорії відносності підтверджується тим, що при невеликих швидкостях руху формули релятивістської фізики «автоматично» переходять у співвідношення Ньютонівської механіки.

Закони Ньютона, які встановлені експериментально для повільних рухів макротіл, не можна використати для руху тіл з великим швидкостями і лише частково можливо застосувати для руху мікротіл. Рух тіл з великими швидкостями описується законами теорії відносності, яка є продовженням розвитку класичної фізики. Рух у мікросвіті описується законами квантової механіки. **В основі теорії відносності лежать два постулати:**

- усі фізичні процеси протікають однаково в усіх інерціальних системах відліку, тобто в усіх цих системах фізичні закони мають однакову форму;
- сталість швидкості світла (швидкість світла у вакуумі однакова в усіх інерціальних системах відліку) не залежить ні від швидкості джерела, ні від швидкості приймача світлового сигналу.

**Наслідки з постулатів теорії відносності:**

- Дві просторово розділені події, одночасні в одній інерціальній системі відліку, можуть не бути одночасними в іншій інерціальній системі відліку.

Швидкість світла у вакуумі є максимально можливою швидкістю передачі взаємодії —  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

- **Відносність відстаней** — довжина рухомого предмета скорочується в напрямі руху, а в напрямі, перпендикулярному до напрямку руху, не змінюється:

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (1)$$

де  $l$  — довжина тіла в рухомій системі.

**Хід рухомого годинника сповільнюється:**

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (2)$$

де  $t_0$  — час в нерухомій системі.

**Закон додавання швидкостей, напрямлених вздовж однієї прямої:**

$$v_2 = \frac{v + v_1}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}; \quad v_2 = \frac{(v + v_1)c^2}{c^2 + vv_1}, \quad (3)$$

де  $v_1$  — швидкість тіла у першій системі відліку,  $v_2$  — швидкість тіла у другій системі відліку,  $v$  — швидкість руху першої системи відносно другої.

**Зв'язок між масою і енергією:**

$$E = mc^2. \quad (4)$$

**Залежність маси від швидкості:**

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (5)$$

де  $m_0$  — маса спокою.

**Імпульс рухомого тіла:**

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} . \quad (6)$$

Класична механіка не могла пояснити такі явища, як теплове випромінювання, фотоэффект, закономірності атомних спектрів тощо. Н. Бор вперше розробив квантову теорію атома водню. Е. Шредінгер та інші вчені створили квантову механіку, яка змінила уявлення класичної фізики.

М. Планк встановив, що будь-яке **електромагнітне випромінювання існує у вигляді особливих частинок — світлових квантів або фотонів**. Кожен фотон рухається зі швидкістю світла і несе строго визначену кількість енергії, прямо пропорційну частоті відповідної йому електромагнітної хвилі:

$$E = h\nu , \quad (7)$$

де  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж с.

Обмін енергією між світлом і речовиною відбувається окремими порціями — **квантами**.

**Фотони можуть повністю зникати у процесі поглинання світла речовиною. і навпаки, при випромінюванні світла певна частина енергії електрона передається фотону, що утворився.**

**При поглинанні фотона його енергія повністю передається одному електрону.**

**Фотоэффект** — це явище виходу електронів з поверхні металу під дією падаючого на поверхню світла. Для звільнення з металу електрон певну частину своєї енергії витрачає на роботу проти сил зв'язку з іонами металу. Ця робота називається роботою виходу електрона з металу. Енергія, яка залишилась після цього є його кінетичною енергією:

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A . \quad (8)$$

Інтенсивне електромагнітне випромінювання малої частоти (червоне) складається з фотонів невеликої енергії. Тому при поглинанні одного такого фотона електрон отримує енергію, меншу від роботи виходу, і не може вирватись з металу — фотоэффект не виникає. Ультрафіолетове ж випромінювання малої інтенсивності складається з фотонів більшої частоти і енергії, які здатні вирвати електрони з поверхні металу.

**Гіпотеза світлових квантів пояснює експериментальні закони фотоэффекту:**

- кількість електронів, вирваних з поверхні металу за 1 с, пропорційна поглинутій енергії світлового потоку;
- максимальна кінетична енергія фотоелектронів лінійно зростає із збільшенням частоти світла;
- **червона межа фотоэффекту (поріг фотоэффекту)** — це найменша частота  $\nu_{\min}$  (найбільша довжина світлової хвилі  $\lambda_{\max}$ ), за якої ще можливий фотоэффект.

Якщо  $h\nu = A$ , то кінетична енергія й швидкість фотоелектрона дорівнює нулю і має місце червона межа фотоэффекту:

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h} \text{ або } \lambda_{\max} = \frac{hc}{A} . \quad (9)$$

Світло проявляє хімічну дію. **Фотохімічна реакція** — це розрив електронних зв'язків у молекулі речовини під час поглинання нею фотона, тобто поділ її на атоми під дією світла, причому кожен поглинутий речовиною фотон викликає перетворення однієї молекули. Молекула вступає у фотохімічну реакцію під дією фотона лише в тому випадку, коли енергія фотона більша за певне значення, необхідне для розриву молекулярних зв'язків (енергія активації). Іншим прикладом є **фотосинтез** — **процес утворення під дією світла органічних речовин із неорганічних на основі карбону.**

*Вуглекислий газ із повітря потрапляє в зелене листя рослин. Тут, під дією світла, вуглекислий газ вступає в хімічну реакцію з водою. У результаті складних процесів у рослині утворюються складні речовини.*

*Завдяки фотосинтезу на Землі відбувається неперервний кругообіг карбону і підтримується життя.*

*Фотосинтез хлорофілу, що міститься у рослинах, відбувається під дією червоних променів сонячного світла. Приєднуючи до вуглеводного ланцюга атоми інших елементів, які надходять із ґрунту, рослини будують молекули вуглеводів, жирів і білків, створюючи їжу для людини і тварин.*

**Світло при поширенні проявляє себе як електромагнітна хвиля, а у процесах випромінювання і поглинання — як потік окремих частинок (фотонів).**

**Атоми кожного хімічного елементу можуть випромінювати і поглинати світло лише певних довжин хвиль.**

Електрони в атомі мають лише певну енергію. За теорією Н. Бора, вони можуть обертатися навколо ядра лише по орбітах строго визначених радіусів і мати лише певні значення енергії. Такі стани називаються стаціонарними. У стаціонарних станах електрон може перебувати тривалий час і не випромінювати при цьому електромагнітних хвиль.

Можливі переходи з одного стану в інший. **При переході зі стану з більшою енергією в стан з меншою енергією різниця енергій випромінюється у вигляді фотона.**

Оскільки значення енергій в станах дискретні, то цим пояснюється лінійчастий характер спектру атомів. Сукупність допустимих значень енергії електронів в атомі називають **енергетичними рівнями**.

Для повного опису стаціонарного стану необхідно вказати значення чотирьох квантових чисел ( $n, l, m, s$ ). У кожному стаціонарному стані не може знаходитися більше одного електрона.

Сукупність електромагнітних хвиль певної довжини, які випромінює (або поглинає) речовина, називається **спектром**. Кожен хімічний елемент має лише характерний для нього атомний спектр випромінювання або поглинання. Атомний спектр кожного елементу не залежить від того, чи входить цей елемент у склад складної речовини, чи є у чистому вигляді. Концентрація елемента в даній речовині визначає яскравість спектральних ліній. **Метод визначення хімічного складу і фізичного стану речовини за видом його спектру (температури, тиску тощо) — називається спектральним аналізом.**

*Цим методом визначають хімічний склад речовин.*

Атомні спектри (лінійчаті) складаються з окремих спектральних ліній, а молекулярні (смугасті) складаються з вузьких спектральних смуг.

Усі тіла за будь-яких температур випромінюють енергію (теплове випромінювання), а інтенсивність випромінювання залежить від температури.

**Люмінесценція** — це випромінювання світла холодними тілами (розчинами органічних речовин, кристалами тощо). Люмінесценція завжди відбувається на фоні теплового випромінювання тіла і доповнює його.

*За впливу ультрафіолетового випромінювання світяться різні тканини організму, нігті, зуби, волосся, а також патологічно змінені тканини. Різниця у спектрі свічення використовується у медицині для діагностики захворювань.*

*Вплив ультрафіолетового випромінювання на сітківку ока є руйнівним. Тому під час зварювання матеріалів необхідно брати захисні окуляри, оскільки скло не пропускає ультрафіолету.*

*Люмінесцентний аналіз використовують для перевірки якості харчових і фармакологічних речовин.*

Випромінювання може бути спонтанним і вимушеним. Вимушене випромінювання можливе, якщо речовина має **метастабільні (довгоживучі) рівні енергії**. На таких рівнях у процесі збудження речовини може накопичитися значна частина атомів. При цьому спонтанний перехід з випромінюванням фотона одним з атомів може спричинити одночасний перехід інших атомів. Усі випромінені при цьому фотони однакові за частотою і напрямом, тобто когерентні. **Таке випромінювання називається вимушеним або індукованим і використовується в оптичних квантових генераторах — лазерах.**

Перетворення атомних ядер (ядерні реакції) супроводжуються виділенням або поглинанням великої енергії. Атомні ядра складаються з нуклонів — протонів і нейтронів. Число протонів у ядрі рівне порядковому номеру елемента  $Z$  в таблиці Менделєєва і визначає основні хімічні властивості елемента.

Число нейтронів  $N$  при заданому порядковому номері може бути різним; атоми з однаковим числом протонів, але різним числом нейтронів називаються **ізотопами** одного хімічного елементу. Повне число нуклонів в ядрі  $A = Z + N$  називають **масовим числом**.

Деякі ізотопи хімічних елементів з бігом часу розпадаються, вони називаються **радіоактивними**. Ядра радіоактивних ізотопів називають **радіонуклідами**.

Сили зв'язку, діючі між нуклонами всередині ядра, називають **ядерними силами**; вони набагато сильніші від електромагнітних сил, проте діють лише на дуже малій відстані. Ці сили **визначаються законами взаємодії кварків — фундаментальних частинок, з яких складаються самі нуклони**.

**Енергія зв'язку ядра  $E$** — це мінімальна енергія, необхідна для повного розділення ядра на складові його нуклони, або та енергія, яка виділяється при утворенні ядра з окремих нуклонів.

$$E = \Delta mc^2, \quad (10)$$

де  $\Delta m$  — різниця між сумарною масою окремих нуклонів ( $Zm_p + Nm_n$ ) і масою утвореного з них ядра ( $M_j$ ).

**Дефект маси:**

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M. \quad (11)$$

За певних умов, легкі ядра можуть з'єднуватись, а важкі — розпадатись, переходячи у більш стійкі ядра. Перший тип ядерних перетворень називається **реакціями синтезу**, а другий — **реакціями поділу атомних ядер**.

Реакція синтезу ядер легких елементів (наприклад, ядер дейтерію і тритію в ядро гелію) йде з виділенням великої енергії. Ця реакція можлива лише за дуже високих температур речовини і її називають **реакцією термоядерного синтезу**.

*Такі реакції постійно проходять у внутрішніх шарах Сонця та інших зірок. Ці реакції є основним джерелом енергії зірок та підтримують їх високу температуру. В процесі цих реакцій утворюються ядра важких елементів. В штучних умовах можна реалізувати реакцію термоядерного синтезу при вибуху термоядерної бомби, яка має надзвичайно велику руйнівну силу.*

У процесі перетворення атомних ядер одних елементів в інші утворюється **радіоактивне випромінювання**. Це випромінювання поділяється на три види:

- $\alpha$ -випромінювання — потік ядер гелію;
- $\beta$ -випромінювання — потік електронів або позитронів;
- $\gamma$ -фотони високої частоти і великої енергії.

**Радіоактивний розпад** — це випадковий процес, на нього не впливають зовнішні чинники. Кількість радіоактивних ядер у процесі розпаду зменшується за експоненціальним законом:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (12)$$

де  $N_0$  — початкова кількість ядер,  $N$  — кількість ядер, які ще не розпались,  $\lambda$  — стала розпаду, яка залежить від природи ядра. **Період піврозпаду** — це час, впродовж якого розпадається половина ядер:

$$T = \frac{0.693}{\lambda}. \quad (13)$$

Потоки частинок і  $\gamma$ -квантів, здатних викликати іонізацію атомів середовища, через яке проходять, називають **іонізуючим випромінюванням**. До нього належать три види радіоактивного випромінювання ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), потоки протонів і нейтронів, рентгенівське випромінювання.

*Іонізуюче випромінювання діє на тканини організму. Під впливом випромінювання відбувається збудження та іонізація складних органічних молекул, які входять до складу клітин і порушують нормальний перебіг біохімічних реакцій.*

Енергія випромінювання передається живому об'єкту у процесах: іонізації з утворенням іона і електрона, при розщепленні молекул на іони, при непружних і пружних зіткненнях з частинками речовини тощо. Радіаційний остаточний прояв цього поглинання обов'язково залежить від кількості поглинутої енергії в одиниці маси живої речовини, яку називають **поглинутою дозою  $D$** . У СІ одиницею є  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ :

$$D = \frac{E}{m}. \quad (14)$$

Жива речовина складається переважно з води, і миттєве поглинання дози  $1 \text{ Гр}$  (грей) призводить до її нагрівання на  $0,00024^\circ$ . Якби шкідлива дія іонізуючого випромінювання зво-

дилася до нагрівання живих тканин, то доза в 1 Гр (і навіть кілька Гр) була б нешкідливою. Проте і така доза може привести до загибелі живого організму, бо ланцюжок перетворень, які започатковує в ньому іонізація, призводить до дуже небезпечних наслідків.

Однакова поглинута доза в одному і тому ж органі зумовить різний біологічний ефект залежно від виду випромінювання. Найбільший негативний вплив чинять  $\alpha$ -частинки, дещо менший протони, швидкі нейтрони, найменший — електрони і  $\gamma$ -кванти. Цю різницю характеризують коефіцієнтом якості  $k$ . Біологічна дія радіоактивного випромінювання характеризується еквівалентною дозою  $H$ , яка визначається за формулою:

$$H = kD, \quad (15)$$

де  $D$  — поглинута доза,  $k$  — коефіцієнти якості для різних випромінювань. У СІ одиницею еквівалентної дози є 1 Зв (зіверт).

Характеристикою джерел іонізуючого випромінювання є **активність** ( $A$ ) — число розпадів за 1 с. Одиниця активності — 1 Бк (беккерель).

При радіоактивному розпаді ядер утворюються різні види іонізуючого випромінювання, які здатні викликати променеву хворобу. У великих концентраціях радіоактивні ізотопи викликають радіаційне ураження організмів, в середніх — використовуються для лікування патологічних утворень, в малих — застосовуються з метою діагностики і досліджень.

Радіоактивні ізотопи використовують для контролю спрацювання поршневих кілець у двигунах внутрішнього згорання. Опромінюючи поршневі кільця нейтронами, збуджують у них ядерні реакції і роблять їх радіоактивними. Під час роботи двигуна частинки матеріалу кільця потрапляють у масло. Досліджуючи рівень радіоактивності масла через певний час, визначають спрацьованість кілець.

### Основні формули

$E = mc^2$ $mc = \frac{h}{\lambda}$ $p = N \frac{h\nu}{c}$	$m$ — маса фотона $mc$ — імпульс фотона $p$ — тиск світла $N$ — число фотонів	кг кг · м/с Па
$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ рівняння Ейнштейна для фотоефекту	$A$ — робота виходу електрона	Дж
$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$	$l$ — довжина тіла, що рухається із швидкістю $v$ відносно деякої системи відліку $l_0$ — власна довжина (довжина в системі, відносно якої тіло перебуває у стані спокою) $v$ — швидкість рухомої системи відносно нерухомої	м м м/с
$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$t$ — час в рухомій системі відліку $t_0$ — інтервал власного часу	с с
$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$m_0$ — маса спокою	кг

$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$ <p>релятивістський закон  <math>u' = u - v</math>  в класичній механіці</p>	$u'$ — швидкість тіла відносно рухомої системи $u$ — швидкість тіла відносно нерухомої системи	м/с м/с
$E = \Delta mc^2$	$E$ — енергія зв'язку ядра $\Delta m$ — дефект маси	Дж кг
$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$	$Z$ — порядковий номер елемента $m_p$ — маса протона $m_n$ — маса нейтрона $M$ — маса ядра	кг кг кг
$N = N_0 e^{-\lambda t}$ закон радіоактивного розпаду	$N$ — кількість ядер, які ще не розпалися $N_0$ — початкова кількість ядер $\lambda$ — стала розпаду	
$T = \frac{0.693}{\lambda}$ період піврозпаду		с
$D = \frac{E}{m}$	$D$ — поглинута доза іонізуючого випромінювання	Гр
$H = kD$	$H$ — еквівалентна доза $k$ — коефіцієнт якості	Зв

### Якісні задачі

1. У якому стані енергія електрона менша: в основному чи у збудженому?
2. Якої найменшої енергії необхідно надати атомові водню, щоб перевести його у збуджений стан?
3. Чи може водневий атом поглинути фотон, енергія якого перевищує енергію зв'язку атома (енергію іонізації)?
4. Якщо електрон втрачає енергію на випромінювання, то радіус його орбіти зменшується. Чому?
5. Яка величина характеризує швидкість радіоактивного розпаду?
6. В чому полягає відмінність між гравітаційним і електромагнітним полями з одного боку і ядерного поля — з іншого.
7. Яка доза випромінювання характеризує його біологічну дію?
8. Від чого залежить негативний вплив радіоактивного випромінювання на організм людини?
9. Які процеси в речовині зумовлюють радіонукліди?
10. Назвіть методи захисту від радіації.



### Методичні рекомендації

Дискретність енергетичних станів атома є наочним поясненням квантового характеру електромагнітного випромінювання.

Розглядаючи планетарну модель атома, необхідно звернути увагу на несумісність такої моделі із законами механіки та електродинаміки.

Бор дійшов висновку, що для вивчення атома необхідно відмовитись від положень класичної механіки. Він сформулював два постулати і правило відбору дозволених орбіт.

Перший постулат вказував на дискретність енергетичних станів електрона в атомі і атома в цілому, а також на відсутність випромінювання навіть за прискореного руху електрона.

Другий постулат пояснював механізм випромінювання атома.

Для кращого розуміння суті квантування станів атома можна проаналізувати залежність енергії атома гідрогену від відстані між ядром і електроном:

$$E = -e^2 / 8\pi\epsilon_0 r .$$

З формули видно, що неперервній зміні радіуса орбіти електрона відповідає неперервна зміна енергії.

Далі необхідно розглянути діаграму рівнів, на її основі можна зробити висновок, що оскільки енергія першого рівня найменша, то йому відповідає самий стійкий стан. Цей стан називають **основним**. Усі інші стани з більшою енергією називають **збудженими**.

Якщо атом отримує енергію, наприклад, стикаючись з електроном, то ця енергія поглинається лише певними порціями, які відповідають енергіям збудження атома. Ця взаємодія, а також аналіз оптичних спектрів підтверджує дискретний характер внутрішньої енергії атома.

Тут доцільно навести порівняння з механічними, тепловими і електричними явищами, коли енергія будь-якої системи тіл приймала неперервний ряд значень.

Подальші дослідження показали, що причиною дискретності енергії атома було те, що мікрочастинки мають хвильові властивості. Тому ми для мікросвіту не можемо використовувати такі поняття, як швидкість в певний момент часу, координата, траєкторія руху тощо. Радіуси орбіт за теорією Бора — це ті відстані від ядра, яким відповідає найбільша ймовірність виявити електрон.

Важливим питанням в наш час є радіоактивність. Радіоактивність — це спонтанний розпад ядер і після розпаду їх вже немає, а тому активність розпаду зменшується. Дослідження радіоактивності дало змогу відкрити перетворення одних ядер в інші, розробити нові методи дослідження у фізиці (а згодом використати їх в інших галузях), створити способи реєстрації і спостереження іонізуючих частинок.

Відзначаємо статистичний характер розпаду ядер. Статистичні закони в класичній фізиці являють собою співвідношення між середніми значеннями величин для великої сукупності частинок. Ці закони добре виконуються лише для дуже великої кількості частинок. Закон радіоактивного розпаду також виконується для дуже великої кількості ядер і у цьому схожість із статистичними закономірностями молекулярно-кінетичної теорії. Однак статистичні закони, які описують поведінку великої кількості молекул встановленні, виходячи із законів Ньютона для окремої молекули, а статистичний закон радіоактивного розпаду встановлений безпосередньо, оскільки не можна передбачити, коли відбудеться розпад того чи іншого ядра. Поводження кожного ядра закони квантової фізики передбачають лише з певним ступенем ймовірності.

Акцентуємо увагу на тому, що здійснення ядерних перетворень (штучне) полягає у бомбардуванні ядер частинками високих енергій, а ніякі інші фізичні чинники (температура, тиск тощо) не можуть розщепити ядро.

Відкривши складну будову ядра, встановили існування нового виду взаємодії — ядерної (сильної), яка не залежить від того, чи мають частинки електричний заряд, чи ні. У ядерній взаємодії протон і нейтрон не розрізняються і це зумовило їх спільну назву — нуклони.

Повна енергія ядра складається з енергії спокою нуклонів і енергії їх взаємодії (енергії зв'язку). Енергія зв'язку від'ємна, і тому чим більша за абсолютним значенням енергія зв'язку,

тим менша повна енергія ядра. Енергія зв'язку ядра тим більша за абсолютною величиною, чим більші сили притягання між нуклонами. Тому за величиною енергії зв'язку ядра можна зробити висновок про його міцність, стійкість. Будь-який перехід системи в стійкий стан пов'язаний із зростанням енергії зв'язку за абсолютним значенням, а разом з тим, із зменшенням повної енергії системи. Цим пояснюється виділення енергії.

**Вважаємо за необхідне пояснити вплив випромінювання на живі тканини.**

Поглинене живими речовинами випромінювання завжди спричинює шкідливі ефекти, а характер і ступінь пошкодження залежить від кількості поглиненої енергії.

Спільною рисою усіх променевих пошкоджень є їх хімічна природа — це або зміна в органічних молекулах, спричинена дією безпосередньо на них радіації, або зміни у молекулах, спричинені продуктами радіолізу води.

За впливу  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -частинок, протонів чи іншого виду випромінювання проходить радіоліз води з утворенням хімічно активних вільних радикалів, збуджених молекул тощо.

Радіоактивне випромінювання, взаємодіючи з органічними молекулами, може привести до їх пошкодження або й руйнування, утворення радикалів, іонів, збуджених молекул, перекисів.

Радіація може пошкоджувати нуклеотиди, спричинювати одно- або двониткові розриви в нуклеїнових кислотах, розщеплення білків, перетворення жирних кислот з утворенням радикалів, виникнення ліпідних перекисів тощо.

Активні елементи і сполуки, що утворені при радіолізі води та дії радіації на органічні молекули, вступають у взаємодію з молекулярними структурами біологічних систем, порушуючи хід біохімічних перетворень, змінюючи властивості мембран та умови функціонування клітин.

Частково організм самостійно бореться з наслідками дії радіації та забрудненням організму нуклідами, виводячи їх з організму та відновлюючи первинний стан молекулярних структур і функціонування опромінених клітин (репарація клітин). Наприклад, період виведення ізотопу йоду становить 7,6 доби, ізотопу цезію 70—140 діб, ізотопу стронцію — 17,5 років. Проте при великій кількості пошкоджень клітина не встигає їх усунути до поділу, що може привести до загибелі.

Учень дається задача: *як зміниться активність деякої маси радіоактивної речовини через час, що дорівнює двом періодам піврозпаду?*

Учень відповідає, що зміниться наполовину. Це неправильно. Необхідно зрозуміти, що після одного періоду залишиться половина ядер, а після другого — половина від залишеної половини, тобто у чотири рази менше, тому що активність прямо пропорційна числу атомів, що не розпались.

**Розпад ядер — процес ймовірнісний. Якщо період піврозпаду, наприклад, для ядра радію становить 5 діб і якщо він не розпався протягом 5 діб, то яка ймовірність, що він зазнає розпаду у наступні 5 діб?**

Пояснимо таким чином: ймовірність зазнати розпаду для даного ядра протягом періоду піврозпаду дорівнює  $1/2$ . Вона не залежить від «віку» ядра, тому у будь-які 5 діб буде однаково й дорівнюватиме  $1/2$ .

**Яка енергія виділяється при поділі ядер, що містяться в одному кілограмі урану ( $^{235}\text{U}$ ), якщо при кожному поділі виділяється енергія 200 МеВ.**

Знайдемо, скільки атомів міститься в 1 кг урану:

$$N = M / m_0 = N_A m / M_u,$$

де  $M_u = 0,235 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

Отже, вся виділена енергія буде:

$$\Delta E = 200 \cdot N_A m / M_u = 5,13 \cdot 10^{26} \text{ МеВ} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{ Дж}.$$

**Приклади розв'язування задач**

**Задача 1.** Чому дорівнює тривалість життя мезона, який рухається зі швидкістю  $v = 0,98c$  ( $c$  — швидкість світла у вакуумі) за годинником нерухомого спостерігача, якщо «власний час» життя мезона  $\tau_0 = 2,4 \cdot 10^{-6}$  с.

**Розв'язання.** Рухомий мезон пов'яжемо із власною системою відліку, яка рухається разом із ним. Час  $\tau_0$  життя мезона у власній системі пов'язаний із часом  $\tau$  його життя в системі Земля так:

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Тому

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Підставимо числові значення:

$$\tau = \frac{2,4 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{\sqrt{1 - (0,95)^2}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}.$$

**Задача 2.** Знайти найбільшу довжину хвилі світла, за якої може відбутись фотоефект для платини.

$A = 8,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $\lambda_{\text{max}} = ?$	З формули $A = h\nu_0$ знайдемо межу фотоефекту для платини: $\nu_0 = A / h$ .
---	---

Цій частині відповідає шукана максимальна довжина хвилі

$$\lambda_{\text{max}} = c / \nu_0.$$

Тоді маємо:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{ch}{A};$$

Проведемо обчислення:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{8,5 \cdot 10^{-19}} = 2,34 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

**Задача 3.** Знайти максимальну швидкість електрона, який вилетів з цезію, при освітленні його світлом з довжиною хвилі 400 нм.

$\lambda = 400 \text{ нм} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $\nu_{\text{max}} = ?$	Формула Ейнштейна для фотоефекту: $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ .
--	--

З цієї формули знаходимо швидкість:

$$\nu_{\text{max}} = \sqrt{(2h\nu - 2A) / m}.$$

Враховуючи, що  $v = c / \lambda$ , отримаємо

$$\nu_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)},$$

$$\nu_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left( \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - 3,2 \cdot 10^{-19} \right)} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

**Задача 4.** На скільки змінилась енергія електрона в атомі водню при випромінюванні атомом фотона з довжиною хвилі  $4,86 \cdot 10^{-7}$  м?

$\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Зміна енергії атома при випромінюванні фотона $\Delta W = h\nu$ , або із врахуванням того, що $\nu = c / \lambda$ , буде $\Delta W = \frac{hc}{\lambda}$ :
$\Delta W = ?$	

$$\Delta W = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,86 \cdot 10^{-7}} = 4,1 \cdot 10^{19} \text{ Дж.}$$

**Задача 5.** Обчислити дефект маси ядра ізотона неону  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ .

$m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	Дефект маси ядра дорівнює $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M$ .
$m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	
$\bar{n}_a = 33\,1888 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	Із символічного запису елемента неону ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ виходить, що $A = 20$ ; $Z = 10$ .
$\Delta m = ?$	

$$\text{Тоді } \Delta m = 10m_p + (20 - 10)m_n - M_a = 10(m_p + m_n) - M_a.$$

$$\Delta m = [10(1,6724 \cdot 10^{-27} + 1,6748 \cdot 10^{-27}) - 33,1888 \cdot 10^{-27}] = 2,832 \cdot 10^{-28}.$$

**Задача 6.** Знайти період піврозпаду радону, якщо за одну добу з 1 млн. атомів розпадається 175000 атомів.

$t = 1 \text{ доба} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$	Період піврозпаду радону: $T = 0,693 / \lambda$ .
$N_0 = 10^6$	
$\Delta N = 1,75 \cdot 10^5$	Сталу розпаду $\lambda$ знаходимо так: число ядер, які не розпались за час $t$ буде $\Delta N = N_0 - N$ ,
$T = ?$	

де  $N_0$  — число ядер, що не розпались в початковий момент часу, а  $N$  — число ядер, що не розпались через час  $t$ .

$$\text{Оскільки } N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t}, \text{ то } N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1 - e^{-\lambda t}), \text{ звідки } \lambda = \frac{1}{t} \lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}.$$

Тоді:

$$T = \frac{0,693 \cdot 0,43 \cdot 8,64 \cdot 10^4}{\lg [10^6 / (10^6 - 1,75 \cdot 10^5)]} \approx 3,3 \cdot 10^5.$$

***Задачі для самостійного розв'язування***

1. При випромінюванні атомом водню фотона повна енергія цього атома змінилася на 2,56 еВ. Знайти довжину хвилі випроміненого світла.
2. З якою частотою обертається електрон в атомі водню, перебуваючи на коловій орбіті радіусом  $5 \cdot 10^{-11}$  м?
3. Обчислити дефект маси для ізоотопу водню  ${}^2_1\text{H}$ .
4. Як зміниться масове число і номер елемента при викиданні протона?
5. За 8 годин початкова кількість радіоактивного ізоотопу зменшилась у три рази. У скільки разів кількість зменшиться за добу, відраховуючи від початкового моменту часу?
6. Під час опромінення люмінофора ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі 200 нм він випромінює світло з довжиною хвилі 500 нм. Яка частина енергії падаючої хвилі витрачається на неоптичні процеси (нагрівання, хімічні реакції тощо)?
7. Скільки фотонів випромінюється за 1 с лампою розжарення, корисна потужність якої становить 60 Вт, якщо середня довжина електромагнітних хвиль 662 нм?
8. Визначити довжину електромагнітної хвилі, що випромінюється при різкому гальмуванні електрона, який рухався зі швидкістю  $10^7$  м/с. До якого діапазону хвиль належить це випромінювання?
9. Скільки атомів радіоактивного ізоотопу кальцію розпадається за 1 добу у 1 г цього ізоотопу, якщо період піврозпаду його становить 164 доби?
10. Радіус колової траєкторії протона і  $\alpha$ -частинки у магнітному полі однаковий. Яке співвідношення їхніх швидкостей?

## ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ

### *Відповіді до задач для самостійного розв'язування (механіка)*

1.  $21,6 \cdot 10^3$  м
2. 20 секунд
3.  $\approx 5,1$  с
4. в 4 рази
5.  $F_{\mu} = 14$  Н,  $P = 14$  Н
6. 35,15 Н
7. 3,14 м/с; 3,14 рад/с;  $0,5 \text{ с}^{-1}$ ;  $9,86 \text{ м/с}^2$
8. 16 Дж
9. 1000 Н
10. 521,3 Н

### *Відповіді до якісних задач (механіка)*

1. Молекули спирту і води взаємно проникають у проміжки між ними. Окрім того, вони вступають у хімічну взаємодію. Внаслідок цього об'єм суміші води і спирту менший, ніж сума початкових об'ємів.
2. Газ дифундує через оболонку кулі.
3. Щоб скла не «злипалися» під дією сил притягання молекул.
4. Це залежить від температури і атмосферного тиску. Наприклад, при нормальному атмосферному тиску кухонна сіль стає рідкою при температурі понад  $800^{\circ}\text{C}$ .
5. Руйнуються зв'язки між кристалами олова.
6. Тілом відліку є карусель.
7. Чим більше у човні людей, тим більша його маса і тим менше змінюється його швидкість під час стрибка човняра.
8. Густина срібла більша за густину заліза, то об'єм срібла буде меншим. За цієї умови, рівень води у першій склянці буде вищим.
9. Внаслідок інертності крапель води.
10. При зупинці коня, рухаючись за інерцією, наїзник впаде вперед через голову коня.
11. Сила тяжіння пропорційна масі тіла.
12. Вага тіла залежить від його маси і відстані до центру Землі. Оскільки вага тіл  $A$  і  $B$  однакова, а тіло  $B$  більше віддалене від центру Землі, то маса тіла  $B$  більша за масу тіла  $A$ .
13.  $180^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ .
14. Вільна поверхня води в океані перпендикулярна до напрямку сили тяжіння у кожній точці, тому повторює кулеподібність Землі.
15. Вільно падати.
16. Ні, оскільки маса тіла при малих швидкостях не залежить від характеру його руху.
17. Нулеві.
18. Сила тяги двигуна автомобіля і сума сил опору повітря і тертя рухомих частин машини.
19. При розведеній пилі пропилювач має більшу ширину, більшу від товщини полотна пилки. Цим зменшується тертя між рухомою пилою і стінками пропилу.
20. Це збільшить силу тиску на заднє (ведуче) колесо машини, а отже, збільшить зчеплення з полотном дороги. Якщо помістити вантаж на причеп, то можливе пробуксовування машини на слизькій дорозі і на підйомі.
21. На внутрішній — сила відштовхування між молекулами, а на зовнішній — притягання.
22. Буде, за рахунок вологи, яка піднімається по капілярах ґрунту.



23. Крейда — пориста речовина. Вода, переміщуючись капілярами, витісняє з крейди повітря.
24. За глибиною сліду на зораній землі.
25. Відчуття болю залежить від тиску, який предмет чинить на долоню. Тиск залежить від площі опори. Краї стінки циліндра мають малу площу, отже тиск великий, а площа дна велика — тиск малий.
26. Сила, з якою вітер діє на крону дерева (при однаковому тиску), залежить від площі її поверхні. У живого дерева вона більша. Тому буря звалить живе дерево раніше.
27. При опорі людини на дошку або драбину її сила тяжіння розподілиться на більшу площу і тиск на кромку льоду буде меншим.
28. Повітря, що є в шматку дерева, нагрівається, розширюється і розриває волокна деревини, тому чується тріск.
29. При нагріванні у посудині, ємність якої не змінюється.
30. Ні. Якщо б поверхня води у річці була горизонтальною, то вода не текла би уздовж її русла.
31. Оскільки сила тиску збільшується разом із площею дна і висотою рідини, то дно необхідно зробити ширшим, а саму посудину — вузькою, щоб рідина стояла у ній вище.
32. Густина повітря швидко зменшується із збільшенням висоти, густина води незначно зростає із збільшенням глибини занурення.
33. Густина мармuru менша від густини міді, тому при однаковій масі мармур має більший об'єм, отже, на нього буде діяти більша виштовхувальна сила і його легше втримати у воді, ніж мідну гиру.
34. При вдиханні плавець спливає, а при видиху занурюється глибше у воду, тому що при диханні змінюється об'єм грудної клітки і відповідно змінюється архімедова сила.
35. Однакова. Брусок плаває в обох рідинах, а отже, й виштовхувальна сила у кожному із цих випадків дорівнює його вазі.
36. При однакових кулях рівень дотику води з ртуттю не зміниться.
37. Густина домішок менша, а густина зерна більша за густину розчину.
38. Густина більш жирного молока менша, і тому у ньому лактометр зануриться глибше.
39. Густина нагрітого повітря менша від густини холодного, тому на нагріте повітря діє архімедова сила.
40. За наявності пасажирів, сила тяжіння вагона більша, збільшується сила тертя, яка у даному випадку дорівнює силі тяги, зростає потужність збільшується витрата електроенергії.
41. Щоб збільшити плече сили і цим полегшити відкривання дверей.
42. При двох на кінцях палки плечі сил дуже маленькі. Тому необхідно прикласти великі сили. У випадку опори на підставку посередині палки плечі сил збільшуються, тому необхідно прикласти менші сили, щоб її зламати.
43. Щоб напилон при русі завжди був у горизонтальному положенні при зміні точки опори, діючі сили повинні весь час змінюватись за величиною.
44. Перетягне латунна гиру.
45. Дією сили тертя.
46. Таке кріплення дає можливість зменшити натяг троса удвічі (якщо не враховувати тертя у блоках).
47. Ні. Свинець має більшу енергію.
48. За рахунок різниці потенціальних енергій на вершині гори і біля підніжжя.
49. При однакових швидкостях тіло, яке має більшу масу, має й більшу кінетичну енергію.
50. Так, для зміни кінетичної енергії тіла.
51. До енергії, якої надає тілу гімнаста робота м'язів, додається енергія, яку надає йому деформована дошка.
52. Пробиваючи дошку, куля виконує роботу проти сил тертя за рахунок зміни своєї кінетичної енергії. Швидкість кулі зменшується. Протиріччя із законом збереження енергії немає, оскільки куля і дошка при цьому нагріваються.
53. Якщо авто робить розгін, то до механічної енергії, яку генерує двигун в даний час, додається раніше набута кінетична енергія самого авто.

**Відповіді до якісних задач**  
**(молекулярна фізика і термодинаміка)**

1. Оскільки взимку густина повітря більша, ніж влітку, а кінетична енергія тіла залежить від маси, то взимку за тієї самої швидкості (та інших рівних умов) матиме більшу потужність.
2. При зупинках кінетична енергія авто перетворюється **на** внутрішню енергію гальмівних колодок та ін. Щоб кожен раз після зупинки набути необхідної швидкості (а значить, і кінетичної енергії), у двигуні повинна бути витрачена додатково деяка кількість пального.
3. Інакше вони втратили б свою міцність внаслідок нагрівання при терті у повітрі.
4. Скло має меншу теплопровідність, ніж залізо.
5. При температурі, рівній температурі тіла людини, коли не відбувається теплопередача.
6. Вологий, тому що має більшу теплопровідність.
7. Вода має більшу теплопровідність, ніж повітря, тому у воді тіло людини охолоджується швидше.
8. Тепле повітря має меншу густину, ніж холодне, тому архімедова сила витісняє нагріте повітря у верхні шари.
9. Коли лід покляли на кришку чайника (внаслідок конвекції).
10. Земля нагрівається променями сонця. Повітря нагрівається землею. Тому є деяке запізнення в досягненні максимуму нагрівання повітря і землі.
11. Поряд із процесом випромінювання енергії у космос відбувається й процес поглинання енергії Сонця і зірок. Крім того радіоактивні елементи Землі також нагрівають її.
12. Тепла рука віддає тепло, а холодна приймає.
13. Це зумовлено теплопровідністю повітря і малою площею, над якою і підтримується стала температура.
14. Порох на відміну від бензину має меншу теплоту згоряння, але більшу швидкість згорання (вся енергія порошу виділяється у тисячні долі секунди).
15. Робота виконується проти сил тертя. Потенціальна енергія піднятої кульки перетворюється у внутрішню енергію кульки і рідини.
16. Нанести подрапину одним тілом по поверхні іншого.
17. При невеликому морозі сіль у вигляді розчину випаровується з льоду.
18. Великою питомою теплоємністю води.
19. Ні.
20. Велика питома теплота плавлення зменшує швидкість танення снігу. Цим попереджуються сильні весняні паводки, а ґрунт насичується вологою.
21. Ні, оскільки вода у пляшці замерзати не буде.
22. Ні. Внаслідок випаровування маса води у тарілці зменшиться і чашка з гирями опуститься.
23. У сухому повітрі піт випаровується і охолоджує організм людини.
24. Потрапляючи у більш холодні шари рідини, пара, яка міститься у бульбашках, конденсується, тиск її зменшується, і бульбашки або зменшуються у розмірах або зникають.
25. Температура кипіння олії вища за температуру кипіння води. Вода, попадаючи у кип'ячу олію, швидко випаровується і пара розбризкує олію.
26. Теплоємність глиняної посудини більша, ніж металевої. Тому від глиняної посудини ще деякий час передається та кількість тепла, яка необхідна для кипіння води.

***Відповіді до задач для самостійного розв'язування  
(молекулярна фізика і термодинаміка)***

1.  $1,5 \cdot 10^{20}$
2. 136,5 К
3. 6,35 кг
4.  $0,5 \text{ кг/м}^3$
- 5.
6. 721 Дж
7.  $326^\circ\text{К}$
8. 1,5 кг
9.  $4 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ;  $2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$
10.  $291^\circ\text{К}$

***Відповіді до якісних задач  
(електродинаміка)***

1. Електризація відбувається при терті крапель з повітрям.
2. Може, залежно чим її натирати.
3. Фарфор добрий ізолятор.
4. У ізолятора, який має форму дзвіночка, підчас дощу і снігу внутрішня частина залишається сухою. Внаслідок цього не відбувається втрати струму через вологість, яка осіла на ізоляторі і на стовпі.
5. Заряди не знищуються. Кожен із них створює своє електричне поле. Проте заряди можуть розташуватись так, що їх сумарне поле дорівнюватиме нулю.
6. А-частинки у колбі з повітрям зазнають частих зіткнень з атомами газу, тому довжина вільного пробігу у них невелика, вони швидко втрачають свою енергію і можуть не потрапити на стінку колби. При відкачуванні газу середня довжина пробігу а-частинок різко зростає і вони починають попадати на стінку колби, зумовлюючи її свічення.
7. Від'ємного.
8. Вода і струмись звичайного вогнегасника є провідниками і можуть знову замкнути коло і відновити причину пожежі.
9. На тепловій.
10. Ні.
11. Спочатку вилку з розетки.
12. Зменшився струм.

**Відповіді до задач для самостійного розв'язування  
(електродинаміка)**

1.  $q_0 = \frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}$
2. 7,98 нКл
3. 0,36 м
4.  $-1,2 \cdot 10^{-6}$  Дж
5. 260 В
6.  $I = 0,5$  А  
 $R_g = 80$  Ом
7.  $9,38 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>
8.  $z = \sqrt{R_1 R_2}$
9. 0,12 Дж
10. 2 мТл
11. 2 А, 5,6 мА
12. 96%

**Відповіді до якісних задач  
(коливання і хвилі)**

1. Початковий поштовх, внутрішні сили і дуже мале тертя.
2. Якщо внаслідок зсуву одного шару середовища відносно другого виникають пружні сили, які повертають зсунутий шар у попереднє положення. То хвиля — поперечна. Якщо виникають сили стиску і розтягу, то хвиля поздовжня.
3. У воді поширюються і поперечні, і поздовжні хвилі.
4. Так. Потрібно визначити прискорення сили тяжіння.
5. Під дією пружних або квазіпружних сил.
6. Швидше зменшується у воді, тому що більша сила тертя.
7. Відбувається передача енергії.
8. При постійному струмі виділяється більше теплоти.
9. У зв'язку з невідповідністю  $L$  і  $C$  при неповному навантаженні зменшується  $\cos \alpha$ .
10. Змінюється індуктивність котушки, а, отже, й частота коливань.
11. Зменшити відстань між пластинами.
12. а) частота зменшується. б) частота зростає.
13. Від електричних і магнітних властивостей середовища.

**Відповіді до задач для самостійного розв'язування  
(коливання і хвилі)**

1.  $F_0 = 109 \text{ Н}$ ,  $E = 2,7 \text{ кДж}$
2.  $T \approx 0,2 \text{ с}$
3.  $\Delta t = 3,46 \cdot 10^2 \text{ с}$
4.  $v_{\max} = 7,85 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ ,  $a_{\max} = 12,3 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$
5.  $x = -1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
6.  $I_{\max} = 1 \text{ А}$
7.  $\nu = 61 \text{ Гц}$
8.  $u = 21,5 \text{ В}$
9.  $T = 10^{-5} \text{ с}$
10.  $\lambda = 200 \text{ м}$

**Відповіді до якісних задач  
(оптика)**

1. У загальному випадку — ні, а наближено можливе лише за малих кутів падіння.
2. Сферичні краплі води можуть фокусувати промені світла і зумовлювати опік поверхні листків рослин. Також варто зазначити швидке випаровування води, яка не йде на користь рослинам.
3. Якщо у склянку налити дві або більше рідин, які не змішуються.
4. Так, якщо він дивиться уздовж діагоналі квадрата і бачить дві рибки при заломленні на двох гранях (рибка на діагоналі квадрата).
5. 50%.
6. Це не виконується при русі предмета на відрізок між фокусом та лінзою.
7. Риби, око якої має дуже опуклу поверхню рогівки.
8. Він зменшуватиметься при зменшенні показника заломлення рідини.
9. Такого кольору у спектрі немає, тому що вони утворюються накладанням різних за довжиною хвилі світлових пучків.
10. Зелене.
11. Чисте повітря, яке не містить пилу і крапель води, розсіює лише сині і фіолетові промені.
12. Буде вкрита темними і світлими плямами одного кольору.
13. Небо стає темнішим, а його колір змінюється від голубого до темно-синього, навіть трохи фіолетового.
14. Відстань між максимумами зменшиться (практично вдвічі), інтенсивність світла у центральному максимумі зменшиться у 4 рази, ширина максимумів не зміниться.

***Відповіді до задач для самостійного розв'язування  
(оптика)***

1. 0,05 Лм
2. 0,3 м
3.  $\approx 1,08$  рад
4. 0,67 м
5. 0,41 м
6. між  $F$  і  $2F$ ,  $= 1,25$  м
7. 4
8. 562

***Відповіді до якісних задач  
(сучасна фізика)***

2. Ця енергія визначається різницею першого збудженого і основного рівнів.
3. Може. Надлишок енергії фотона перетвориться в кінетичну енергію електрона.
4. Якщо енергія зменшується, то її модуль збільшується, а радіус зменшується.
5. Період піврозпаду.
6. Ядерна взаємодія відбувається при обміні квантами ядерного поля — мезонами.
7. Еквівалентна.
8. Від виду випромінювання, його інтенсивності, від радіочутливості кожного органу.
9. Збудження і іонізацію.
10. Фізичні (екранування, відстань, час) і хімічні (радіопротектори, вітаміни, харчування).

***Відповіді до задач для самостійного розв'язування  
(сучасна фізика)***

1.  $\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7}$  м.
2.  $\nu = 3,6 \cdot 10^{16}$  Гц.
3.  $\Delta m = 2,44 \cdot 10^{-29}$  кг.
4.  $\Delta A = 1$ ,  $\Delta Z = 1$
5.  $n = 27$ .
6.  $E = 3,72$  еВ,  $\eta = 0,6$
7.  $n = 2 \cdot 10^{20}$ .
8.  $\lambda = 4,36 \cdot 10^{-9}$  м, рентгенівське випромінювання.
9. За одну добу розпадається  $6,3 \cdot 10^{19}$  атомів.
10. Швидкість протона у два рази більша від швидкості  $\alpha$ -частинки.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	<b>3</b>
<b>Розділ I.</b> <b>ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПРОФЕСІЙНО СПРЯМОВАНОГО</b> <b>НАВЧАННЯ ФІЗИКИ</b> .....	<b>5</b>
<b>Розділ II.</b> <b>ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ</b> <b>З ПРЕДМЕТУ «ФІЗИКА»</b> .....	<b>29</b>
<b>МЕХАНІКА</b> .....	<b>29</b>
Теоретичні положення, основні формули. ....	29
Основні формули .....	36
Якісні задачі .....	37
Методичні рекомендації .....	39
Приклади розв'язування задач .....	47
Задачі для самостійного розв'язування .....	49
<b>МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА</b> .....	<b>49</b>
Теоретичні положення, основні формули. ....	49
Основні формули .....	58
Якісні задачі .....	59
Методичні рекомендації .....	60
Приклади розв'язування задач .....	64
Задачі для самостійного розв'язування .....	67
<b>ЕЛЕКТРОДИНАМІКА</b> .....	<b>68</b>
Теоретичні положення, основні формули. ....	68
Магнітне поле електричного струму. ....	75
Основні формули .....	77
Якісні задачі .....	79
Методичні рекомендації .....	80
Приклади розв'язування задач .....	83
Задачі для самостійного розв'язування .....	91
<b>КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ</b> .....	<b>92</b>
Механічні коливання і хвилі	
Теоретичні положення, основні формули. ....	92
Електромагнітні коливання і хвилі. Змінний струм .....	97
Основні формули .....	101
Якісні задачі .....	101
Методичні рекомендації .....	102



Приклади розв'язування задач	104
Задачі для самостійного розв'язування	106
<b>ОПТИКА</b>	<b>106</b>
Теоретичні положення, основні формули	106
Основні формули	114
Якісні задачі	115
Методичні рекомендації	115
Приклади розв'язування задач	118
Задачі для самостійного розв'язування	121
<b>СУЧАСНА ФІЗИКА</b>	<b>122</b>
Теоретичні положення, основні формули	122
Основні формули	126
Якісні задачі	127
Методичні рекомендації	128
Приклади розв'язування задач	130
Задачі для самостійного розв'язування	132
<b>ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ</b>	<b>133</b>
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (механіка)	133
Відповіді до якісних задач (механіка)	133
Відповіді до якісних задач (молекулярна фізика і термодинаміка)	135
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (молекулярна фізика і термодинаміка)	136
Відповіді до якісних задач (електродинаміка)	136
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (електродинаміка)	137
Відповіді до якісних задач (коливання і хвилі)	137
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (коливання і хвилі)	138
Відповіді до якісних задач (оптика)	138
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (оптика)	139
Відповіді до якісних задач (сучасна фізика)	139
Відповіді до задач для самостійного розв'язування (сучасна фізика)	139



Навчальне видання

ЄМЧИК Любов Федорівна

**Професійно спрямоване  
вивчення фізики  
у процесі підготовки  
робітників  
сфери обслуговування**

*Навчально-методичний посібник*

Редактор *Трудолюбова І.В.*  
Верстка *Мирочник Ю.П.*  
Обкладинка *Рязанова Р.Л.*

Підписано до друку Формат 70х100 1/16  
Гарнітура Петербург. Друк. офс. Папір офс.  
Ум. друк. арк.  
Наклад 300 пр.

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ.  
ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО.**

Видавництво “Педагогічна думка”  
04053, м. Київ, вул. Артема, 52-а, корп.2;  
тел./факс: (044) 484-30-71  
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовників  
розповсюджувачів видавничої продукції  
Серія ДК №3563 від 28.08.2009 р.